
KIERRÄTYSLASIJAUHEEN KÄYTTÖ PUNASAVIVALUMASSASSA




Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Muotoilun koulutusohjelma, lasi- ja keramiikkamuotoilun suuntautumisvaihtoehto

Visamäen toimipiste, syksy 2012

Tanja Ylitalo



VISAMÄKI, HÄMEENLINNA
Muotoilun koulutusohjelma
Lasi- ja keramiikkamuotoilu

Tekijä	Tanja Ylitalo	Vuosi 2012
Työn nimi	Kierrätyslasinjauheen käyttö punasavivalumassassa	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä tutkittiin kierrätyslasin käyttöä punasavivalumassassa. Työn tavoitteena oli selvittää, millaista valusavea saadaan sekoittamalla punasavimassaan lasijauhetta. Opinnäytetyö on suunniteltu Rifolasi-projektin käyttöön. On kuitenkin tarkoitettu, että kaikki aiheesta kiinnostuneet pystyvät hyödyntämään tässä työssä hankittuja tuloksia.

Työssä on käytetty lähteinä keramiikka- sekä tiilialan perusoppimateriaalia. Erilaisista tutkimuksista taikka lopputöistä on haettu tietoa kierrätysaineiden hyödyntämiseen keramiikassa. Kirjallisten lähteiden lisäksi tietoa on haettu Internetistä.

Opinnäytetyön aikana tehtiin kolme koesarjaa. Työn aikana määritettiin karkeat rajat sopivalle kierrätyslasin määrälle punasavivalumassassa. Työprosessin aikana huomioitiin, miten ainesmäärät ja poltto-ohjelma vaikuttivat koemassoihin.

Yhdistämällä sopivasti kierrätyslasijauhetta punasavivalumassaan saadaan matalapolttoinen valumassa. Lasijauhe vähentää kutistumaa, laskee sulamispistettä ja tekee massasta tiiviimmän poltettaessa.

Opinnäytetyön lopussa esitellään erilaisten massayhtälöiden ominaisuuksia sekä kehitysehdotuksia saaduille tuloksille. Lisäksi pohditaan, mihin punasavea ja lasijauhetta yhdistäviä valutuotteita voidaan käyttää.

Avainsanat keramiikka, punasavi, lasijauhe, koesarja.

Sivut 45 s. + liitteet 10 s.

VISAMÄKI, HÄMEENLINNA
Degree Programme in Design
Glass and Ceramics

Author	Tanja Ylitalo	Year 2012
Subject of Bachelor's thesis	Using recycled glass powder in red casting clay	

ABSTRACT

This study investigates the use of recycled glass in red casting clay. The aim was to find out what kind of molding clay is obtained by mixing red clay mass with recycled glass powder. The thesis is designed to be used in the Rifolasi project. However, the intension was that all those interested in the subject could make use of the results obtained in this study.

Written sources for this study include the basic information from the field of ceramics, as well as from the brick industry. Results from a variety of studies or theses have been applied for the use of recycled materials in ceramics. In addition to the written sources, up-to-date information was gathered from the Internet.

During the thesis process there were three sets of experiments. During the process the rough limits of the appropriate amount of recycled glass in red casting clay body were determined. During the process the effects of material combinations and the firing program were recorded.

Mixing a good combination of red clay and recycled glass results in a red casting mass with low firing temperatures. Glass powder reduces shrinkage, lowers the melting point and fuses the particles together in the firing process.

At the end of the thesis various equations, properties, and development proposals are presented. In addition to the results, the usage of this red clay and glass powder mass has been contemplated.

Keywords ceramics, red clay, glass powder, test pieces.

Pages 45 p. + appendices 10 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	OPINNÄYTETYÖN KUVAUS.....	1
3	AIHEEN TAUSTALLA.....	4
3.1	Kierrätyksen nykytilanne lyhyesti Suomessa.....	4
3.2	Lasinkierrätys Suomessa.....	5
3.3	Lasin kierrättäminen sekä hyödyntäminen uusiokäytössä	6
4	KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT	7
4.1	Kultelan savi, Someron punasavi	7
4.2	Kierrätyslasista murskattu lasijauhe.....	8
4.3	Deflokkulantti.....	11
4.4	Muut käytettävät apuaineet	12
5	PUNASAVI JA LASIJAUHE -VALUSAVISARJA.....	13
5.1	Valuprosessi	13
5.2	Koesarja 1.....	15
5.3	Koesarja 2.....	17
5.4	Koesarja 3.....	20
6	KOESARJOJEN MITTAUSTULOKSET	23
6.1	Kutistuvuus.....	23
6.2	Vedenimu	25
7	TULOKSET	29
7.1	Yhteenvedo koesarjoista	29
7.2	Saatujen tulosten jatkokehittettävyys	31
7.2.1	Massan, valuprosessin ja polton säätäminen	32
7.2.2	Seoksen muutos	33
7.2.3	Tuoteideat	34
7.2.4	Muut kehitysehdotukset.....	35
8	OMA ARVIOINTI JA POHDINTA	36
8.1	Saatujen tulosten hyödyllisyys	36
8.2	Oma työskentely opinnäytetyön aikana	37
Liite 1	Koevalujen painonmuutokset	
Liite 2	Koevalujen vedenimukyky	
Liite 3	Koevalujen pinta-alan muutokset	

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan, voiko suomalaisen punasaven valettavuutta parantaa lisäämällä punasavimassaan lasijauhetta. Opinnäytetyössä on tarkoitus mahdollistaa pohjatiedot ja perustyökalut tulevaa suunnittelua sekä punasaven ja lasijauheen yhdistämiseen tähtääviä toimintoja varten.

Opinnäytetyön taustalla on aikaisemmin tekemäni koesarjat kierrätyslasijauheesta koostuvasta vaahtolasista, joissa testattiin erilaisia vaahtolasin reseptejä. Lisäinnoitusta tähän opinnäytetyöhön sain, kun osallistuin projektiin, jossa oli tarkoitus suunnitella ja rakentaa ulkotiloihin teos käyttäen kierrätysmateriaaleja. Suunniteltu ulkoilmateos jäi kuitenkin luonnostasolle, eikä teosta toteutettu.

Opinnäytetyön taustavaikuttimena on Hämeen ammattikorkeakoulussa 2010–2013 vaikuttava Rifolasi projekti, jonka tarkoituksena on käynnistää yhteistyö Riihimäen ja Forssan alueen lasialan pk-yritysten sekä HAMKin lasi ja keramiikka-alan koulutuksen välillä. Projektissa kehitetään lasijalosteinnovaatioita lasin uusioraaka-aineesta julkisen ja yksityisen rakentamisen sekä maanrakennusteollisuuden käyttöön. Näitä lasijalosteinnovaatioita on tarkoitus käyttää suoraan olemassa oleviin rakennuskohteisiin. (RIFOLASI Innovaatioita lasista Riihimäeltä ja Forssasta n.d)

Rifolasi-projektissa opiskelijat ovat mukana tuottamassa uusia ideoita, konsepteja ja teoksia, joissa käytetään raaka-aineena kierrätettyä lasia. Näitä tuotoksia on tarkoitus hyödyntää olemassa olevissa kohteissa, sisustuselementeistä kiinteistötaiteeseen.

Tässä opinnäytetyössä käytetty kierrätyslasista jauhettu lasijauhe on saatu Rifolasi-projektin yhdeltä yhteistyöyritykseltä, Uusioaines Oy:ltä. Opinnäytetyön aikana saadut tulokset on tarkoitettu seuraavien Rifolasi-projektin parissa työskentelevien hyötykäyttöön sekä yleisesti sovellettavaksi tutkimustiedoksi.

2 OPINNÄYTETYÖN KUVAUS

Opinnäytetyön käytännön osuuden työskentelyssä on tarkoitus löytää yksinkertainen perusmassa, jolla saada aikaan valautuva punasaven ja lasijauheen yhdistelmä. Valautumisen lisäksi massan muidenkin ominaisuuksien on oltava sopivia työskentelyyn.

Opinnäytetyön ohjaava pääkysymys on

- Millainen valusavi saadaan yhdistämällä punasavea ja lasijauhetta?

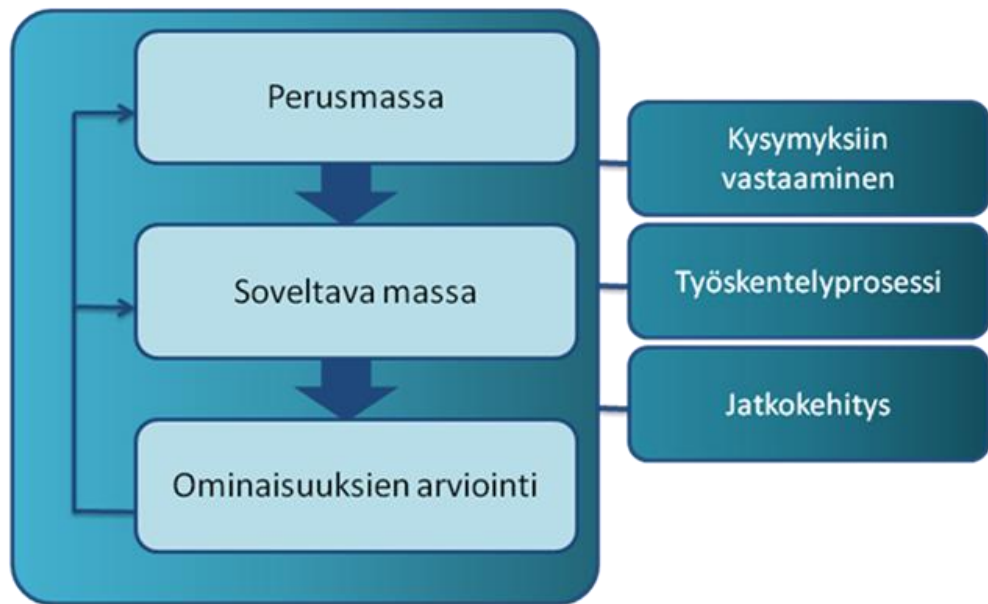
Työn avustavat sivukysymykset ovat

- Millaisia ominaisuuksia punasavesta ja lasijauheesta valetulla tuotteella on?
- Miten punasavisen valutuotteen ominaisuuksia voidaan jalostaa?
- Miten punasaven ja lasijauheen yhdistelmällä saatua valutuotetta voidaan hyödyntää?

Tässä opinnäytetyössä etsitään tietoa, jota selvitetään määrällisten, laadullisten sekä laskennallisten menetelmien avulla. Tämä kokeellinen, empiirinen tutkimus perustuu mitattavien ominaisuuksien, toisin sanoen muuttujien määrittelyyn ja pyrkii aina objektiivisuuteen. (Anttila 2007, 106.)

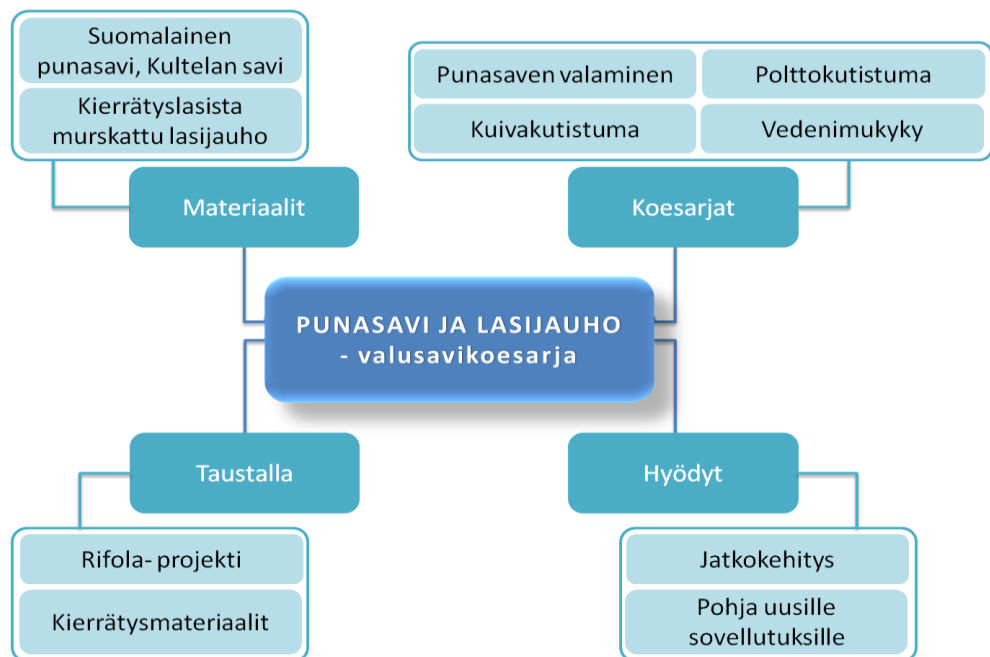
Tässä tapauksessa muuttujat ovat lasijauheen ja savimassan määrä erilaisissa koemassoissa sekä lämpötila jossa koepalat poltetaan. Mitattavia ominaisuuksia ovat koekappaleen paino, kutistuma, mahdollinen sulaminen sekä vedenimu. Vaikka työprosessin sekä saatujen tulosten arvioinnissa pyritään objektiivisuuteen, ovat tulokset väistämättä subjektiivisia. Tämä johtuu opinnäytetyön subjektiivisesta luonteesta ja muun muassa siitä, että tätä tutkimusta tekee ja kirjoittaa vain yksi henkilö, nimittäin opinnäytetyön tekijä.

Työ on käytännönläheinen. Työprosessin aikana saadusta perusmassasta johdetaan soveltavat massat, joilla on tarkoitus muuttaa valuesineen ominaisuuksia erilaisia muuttujia säätämällä. Saadut tulokset arvioidaan. Arvioinnin tulokset vaikuttavat seuraavaan kehitettävään massaan. Tässä opinnäytetyössä esitellään tämä prosessi. Työskentelyn aikana saaduista tuloksista pohditaan, mihin niitä voisi käyttää jatkossa ja mikä potentiaali tuloksilla voi olla. Koko opinnäytetyön ajan työskentelyprosessia ja saatua ja valusavikoesarjan tuloksia vertaillaan jo olemassa oleviin vastaavanlaisiin tehtyihin tutkimuksiin. Näitä ovat muun muassa sellaiset tutkimukset, joissa selvitetään erilaisten kierrätysaineiden hyödyntämistä keramiikassa.



Kuvio 1. Opinnäytetyön prosessinkuvaus

Opinnäytetyö on rajattu mahdollisimman selkeäksi. Alla esitellään aiheet, mitä työssä käsitellään.



Kuvio 2. Opinnäytetyön viitekehys

Tämän opinnäytetyön lähdemateriaalina on käytetty erilaisia keramiikka- sekä tiilialan perustutkimuksia, joita käytetään laajalti yhä oppimateriaalina. Näitä ovat Heikki Jylhä-Vuorion vuonna 2003 painettu Keramiikan materiaalit sekä Ari Halisen ja Martti Romun vuonna 1990 koottu Savesta tiileksi - tiilentekijän oppimoniste. Lisätietoa rakennusalaan koskeviin kohtiin on haettu Unto Siikasen vuonna 2001 painetusta oppikirjasta Rakennusaineoppi.

Erilaisista tutkimuksista on käytetty myös tietoa Someron punasaven käytöstä. Näitä ovat muun muassa Airi Hortlingin sähköiset julkaisut sekä Jari Vesterisen Kuopion käsi- ja taideteollisuusakatemian keramiikka-alan loppuyö vuodelta 1994. Someron punasaven toinen kutsumanimike Kultelan savi, kuten myös millä nimellä Kultelan tiiliputkea kuuluu kutsua, varmennettiin sähköpostiviestillä yrityksen omistajalta Anu Puralta.

Kierrätysaineiden käytöstä keramiikassa ovat tietopohjana toimineet Desirée Seveliuksen taideteollisen korkeakoulun keramiikka- ja lasisuunnitteluosaston lisensiaattityö vuodelta 1997, Raija Siikamäen sekä Kirsti Lepäsen taideteollisen korkeakoulun tutkimusjulkaisu KIMOKELA loppuraportti vuodelta 2003 sekä Mirja Niemelän taideteollisen korkeakoulun väitöskirja vuodelta 2010. Lisäksi tietoa on haettu sähköisistä lähteistä Internetistä.

Suomen jätelain nykyinen muoto, lasinkierrätystietoa sekä mahdollisimman ajankohtaista tilastotietoa nykyisestä lasijätteen määrästä sekä lasijätteen kierrätysprosentista on haettu sähköisenä tietona Internetistä. Lisätietoa lasijauheesta on saatu suullisena tiedonantona Uusioaines Oy:n tuotepäälliköltä Tommi Lehtisalolta.

3 AIHEEN TAUSTALLA

3.1 Kierrätyksen nykytilanne lyhyesti Suomessa

Paine materiaalien kierrätykseen kasvaa lisääntyvän ympäristötietoisuuden myötä. Jätteen kierrätystä sekä uusiokäyttöä on tulevaisuudessa huomiotava yhä enemmän. Myös Suomen jätelakiä kehitetään jatkuvasti vastaamaan nykyhetken vaatimuksia. Viimeisin uudistus on astunut voimaan 1.5.2012 alkaen. Jätelain tavoitteena on tukea kestävästä kehityksestä edistämällä luonnonvarojen järkevää käyttöä sekä ehkäisemällä ja torjumalla jätteistä aiheutuvaa vaaraa ja haittaa terveydelle ja ympäristölle. (Suomen jätelaki, luku 1: 1 §)

Suomen jätelaki edellyttää että kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan huolehdittava siitä, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän. Jätteestä ei myöskään saa aiheutua merkityksellistä haittaa tai vaikeutta jätehuollon järjestämiselle eikä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (Suomen jätelaki, luku 2: 4 §)

Yleinen jätteestä huolehtimisvelvollisuus käsittää seuraavat seikat: Tuotannon harjoittajan huolehdittava siitä, että tuotannossa käytetään säästeliäästi raaka-ainetta ja että raaka-aineen käyttöä korvataan jätteellä. Tuotteen valmistajan huolehdittava ja maahantuojan vastaavasti varmistauduttava siitä, että tuote on kestävä, korjattava ja uudelleen käytettävä tai jätteenä hyödynnettävä ja ettei tuotteesta jätteenä aiheudu edellä tarkoitettua vaaraa, haittaa tai vaikeutta. Viranomaisen huolehdittava siitä, että sen omassa toiminnassa edistetään edellä tarkoitettujen velvollisuuksien toteutumista ja käytetään kierrätettäviä tai kierrätetystä raaka-aineesta valmistettuja tuotteita. (Suomen jätelaki, luku 2: 4 §)

Kierrätys säästää luonnon varoja, energiaa sekä mahdollisuuksia, mutta kierrätykselle on runsaasti esteitä. Mirja Niemelä mainitsee väitöskirjassaan 2010 seuraavat haasteet: 1. Materiaalien keräys tarvitsee infrastruktuurin ja sille kapasiteettia. 2. Joidenkin materiaalien jatkuva kierrätys ei ole koskaan mahdollista. Teknisesti voidaan metalleja, keramiikkaa ja lasia kierrättää loputtomasti energian lisäämisellä, mutta näiden käyttö on vähentynyt materiaalina. 3. Kierrätys koetaan arvoa alentavaksi prosessiksi, sillä se on tekemisissä jätteen kanssa. Tämä aiheuttaa vastustusta. 4. Kulutuksen kasvaessa nopeasti voivat kierrättämisen hyödyt jäädä pieniksi. (Niemelä 2010, 87.)

3.2 Lasinkierrätys Suomessa

Vuonna 1978 lasinkeräys aloitettiin Suomessa. Lasinkeräystoimikunta perustettiin Riihimäellä, ja mukana toimikunnassa ovat Riihimäen kaupunki, Riihimäen Lasi ja jätehuoltoyhdistys Häti Ky. Samana vuonna samanmuotoinen keräystoiminta aloitettiin myös Karhulassa, jossa toimi Karhulan Lasi Oy. 80-luvulla perustettiin pienet puhdistuslaitokset Riihimäelle sekä Karhulaan, mutta niissä saavutetut puhdistustulokset eivät ole kovin hyviä. Kerätyn lasin epäpuhtaudet sekä kerätyn lasin kuljetus ja kustannuskysymykset aiheuttivat ongelmia. (Keräyslasiyhdistys, 24.9.2012.)

Vuonna 1995 Suomi liittyi EU:hun. EU määritteli pakkausmateriaaleille hyötykäyttötavoitteet. Samana vuonna Forssassa otettiin käyttöön lasinpuhdistuslaitos jota operoi Suomen Uusioaines Oy. Vuonna 2004 uusi EU:n pakkausdirektiivi nosti hyötykäyttöprosentin vaatimukset 60 prosenttiin. Samana vuonna poistettiin myös alkoholijuomien tuontirajoituksia, mikä lisää tilastoimattoman pakkauslasin tuontia Suomeen. Nykyäänkin lasia kerätään panttijärjestelmän sekä kuntakeräyksen voimin. Ongelmia aiheuttavat edelleen palautuneen materiaalin epäpuhtaudet sekä kasvavat kustannukset. (Keräyslasiyhdistys, 24.9.2012.)

Tällä hetkellä lain sallimat hyötykäyttömuodot Suomessa ovat lasimurskan käyttö uusien lasipakkausten sekä lasivillan valmistamiseen. Uutena tulokkaana tässä on myös vaahtolasi jonka tuotanto on Suomessa aloitettu vuonna 2011 Uusioaines Oy:n toimesta. Vaahtolasia on käytetty Euroopassa jo pitkään. Valmiissa lasivillatuotteessa kierrätyslasin osuus on noin 60–80%. Kierrätysraaka-aineen osuus uusien pakkauksien tuotannossa on noin 20 % luokkaa. Vaahtolasissa kierrätetyn lasin osuus on tuotteesta riippuen noin 80–98 %. Lasista on lisäksi valmistettu lasitiiliä, mutta heikon kysynnän vuoksi tämä toiminta on nykyisin lakkautettu. (Keräyslasiyhdistys, 24.9.12, Uusioaines Oy: Foamit, 5.10.2012.)

Kierrätettyä lasimurskaa voidaan kuitenkin käyttää myös muihin käyttötarkoituksiin. Ruotsissa on valmistettu lasibetonia. Yhdysvaltalainen kierrätyslehti Resource Recycling kuvailee muun muassa seuraavia käyttötarkeitä: lasimateriaali maanparannuskäytössä, uima-altaiden suodattimissa, hiekkapuhalluksessa, hiekan asemesta jäisten teitten käsittelyssä, maantienpohjissa. Suomessa erityisesti lasimateriaalin käyttö maantiepojan materiaalina voisi olla tulevaisuuden vaihtoehto. Tätä huomioiden on-

kin vaahtolasin valmistus aloitettu viimein myös Suomessa. (Keräysla-siyhdistys, 24.9.2012.)

Tilastokeskuksen mukaan vuonna 2010 yhdyskuntajätettä on kaiken kaik-kiaan yhteensä 2 520 004 tonnia. Tästä erilliskerätyn lasijätteen määrä on yhteensä 76 703 tonnia, josta kierrätettiin 75 684, hyödynnettiin energiana 4 sekä sijoitettiin kaatopaikalle 1 015 tonnia. Tilastossa ei siis oteta huo-mioon keräämättä ja lajittelematta jäänyttä lasijätettä. Tilasto ei myöskään huomioi sähkö- ja elektroniikkaromuissa sekä muissa jätteissä olevaa la-sia. (Tilastokeskus, 23.10.2012)

Vuonna 2010 EU:n säätämä lasijätteen hyödyntämisprosentti on yhä 60 %. Lasipakkausten hyödyntämisprosentti Pakkausalan ympäristörekisterin mukaan oli vuonna 2010 Suomessa seuraavanlainen: lasipakkauksista käy-tettiin uudelleen 47 % ja lasipakkauksista hyödynnettiin 61 %. (Pak-kausalan ympäristörekisteri PYR Oy)

Uusien hyötykäyttömahdollisuuksien löytäminen tulevaisuudessa tulee olemaan välttämätöntä. Tämä on tärkeää, sillä uuden pakkausdirektiivin todennäköisesti vaatimat korkeammat hyötykäyttöasteet halutaan saavut-taa. (Pakkausalan ympäristörekisteri PYR Oy)

3.3 Lasin kierrättäminen sekä hyödyntäminen uusiokäytössä

Mirja Niemelä 2010 tarkastelee väitöskirjassaan kierrätysmateriaalien hyödyntämistä teollisissa keramiikkatuotteissa. Niemelän mukaan teolli-seen tuotantoon kelpaa hyvin sellainen kierrätysmateriaali, joka soveltuu tuotantoprosessiin ja ei näy tuotteessa. Tuotantoprosessin ulkopuolelta tu-levia jättemateriaaleja hyödynnetään vähän keramiikassa ja tähän on myös syynsä. Esteitä kierrättämiselle ovat keramiikkaan käytettävien niin sanot-tujen puhtaiden raaka-aineiden alhainen hinta, helppo saatavuus sekä tie-don puute jättemateriaalien ominaisuuksista ja näiden ominaisuuksien hyö-dytämiskeinoista. (Niemelä 2010, 86.)

Siikamäki ja Leppänen tutkivat loppuraportissaan 2003 kierrätetyn moni-torilasin hyödyntämistä teollisuuden raaka-aineena. Keraamisessa tuotan-nossa monitorilasimateriaalia on mahdollista hyödyntää lasitteen tai ke-raamisen massan osaraaka-aineena. Tällöin on mahdollista korvata lasilla esimerkiksi frittien eli sulatteiden tai neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Lasituotannossa monitorilasia voidaan hyödyntää joko osaraaka-aineena korvaamaan raaka-aineiden käyttöä tai tiettyjen valmistustekniikoiden osalta tuotanto voi perustua kokonaan kierrätysmateriaalille. (Siikamäki & Leppänen 2003, 3, 8.)

Teknologian tutkimuskeskuksen VTT:n vuoden 2007 raportin numero 2402 mukaan lasia voidaan käyttää lukuisia kertoja uuden lasin valmistuk-seen laadun silti heikkenemättä. Lasia kierrättämällä pystytään säästämään luonnonvaroja ja kalliita raaka-aineita. Kierrätyslasia käytettäessä tarvi-taan vähemmän soodaa, joka on tuontitavaraa ja lasin kallein ainesosa. Myös lasin sulatukseen tarvittavaa energiaa säästyy, sillä jätelasi sulaa helpommin kuin neitseelliset raaka-aineet. (Mroueh, Ajanko-Laurikko,

Arnold, Laiho, Wihersaari, Savolainen, Dahlbo ja Korhonen 2007, 26.10.2012.)

Mroueh ynnä muut tarkastelevat raportissaan Siikamäen ja Leppäsen saamia tuloksia. Monitorilasin käyttö keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineena on Siikamäen ja Leppäsen tutkimusten mukaan mahdollista, mutta käyttö ei kuitenkaan hyvistä ideoista ja käyttökelpoisista tekniikoista huolimatta ole laaja-alaisesti toteutunut. Tutkimushanke, jossa ideoita kokeiltiin, oli kertaluontoinen. Sen tulosten perusteella ei ole päädytty kaupallisiin sovelluksiin. Jotta tuotannosta tulisi kannattavaa, tuotantovolyymit täytyisi saada suuremmiksi ja tuotteille täytyisi löytää markkinat. (Mroueh ym. 2007, 26.10.2012.)

Vaikka vaahtolasi on hyvää vauhtia tulossa markkinoille, Suomessa raaka-aineiden korvaaminen uusiokäyttöaineilla teollisuudessa ei ole vielä kovinkaan pitkälle vietyä. Monet lupaavat tuoteideat jäävät kertaluontoisten tutkimusten tasolle. Uusiokäyttöaineiden jalostaminen ja näiden tuotteistaminen Suomessa onkin enimmäkseen pienyritysten ja käsityöstudioiden toimintaa. Näin eivät kierrätysaineista saadut tuoteideat sekä tuotteet vastaa kasvavien jättemäärien hyödyntämistarvetta.

4 KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT

4.1 Kultelan savi, Someron punasavi

Kultelan Tiiliputki, myös aiemmin Kultelan Tiiliputki U. Kankare & pojat ay. nimellä tunnettu yritys, kaivaa ja myy punasavea Somerolta. Savi kaivetaan Someron Kultelan kylästä, minkä vuoksi savi tunnetaan myös Someron punasavena. (Pura, sähköpostiviesti 5.10.2012.)

Someron punasavi on muiden skandinaavisten maaperäsavien lailla jääkauden rapautumistuote. Koostumukseltaan se on lähinnä hienontunutta ja lajittunutta graniittia sekä orgaanista ainesta. Suomalaisessa savessa on kuitenkin vähemmän kalkkimineraaleja kuin Etelä-Euroopan vastaavissa savissa. (Hortling 2006, Jylhä-Vuorio 2003, 48.)

Punasavi on saanut nimensä siitä että sen noin 5 %:n Fe_2O_3 -pitoisuus aiheuttaa poltetulle punasavelle punaisen värisävy. Juuri sisältämänsä suhteellisen suuren alkali ja raskasmetalli määrän takia punasavi sulaa aivan juoksevaksi lyhyellä lämpövälillä, noin 1100 °C:sta ylöspäin. Siksi suositeltava polttolämpötila punasavelle on keskimäärin 1020 ja 1080 °C alueella. (Hortling 2006, Jylhä - Vuorio 2003, 48.)

Someron punasavi on helppoa työstettävää ja usein myös erilaisten oppilaitosten suosiossa. Sen lisäksi somerolaista punasavea on käytetty useasti tutkimuksissa. Someron punasavea on käytetty vertailussa, jossa tutkittavien massojen ominaisuuksia verrataan keskenään tai sitä voidaan tarkastella sekoitettuna erilaisten aineiden kanssa.

Tämän opinnäytetyön koemassoissa käytetään jauhemaisessa muodossa olevaa Someron punasavea. Tällöin punasaven soveltuvuus juuri valusaven raaka-aineeksi on erinomainen.

Kultelan punasavesta on teetetty oksidianalyysi AAS- menetelmää käyttäen, lukuun ottamatta hiilianalyysiä, joka tehtiin termooanalyttisesti. Tekijänä on ollut TKK:n kemian analyysikeskus. Analyysi on tehty 28.3.1990. Vain titaatin analyysiä ei tuolloin voitu tehdä, koska analyysiin soveltuva lamppu puuttui. Tätä varten on saatuihin tietoihin verrattu yleisiä eri alueiden lasiaalissavianalyysijä sekä tiilisaven keskimääräistä kemiallista koostumusta. (Auvinen, sähköpostiviesti 2.5.2012. Pura, sähköpostiviesti 5.10.2012.)

Taulukko 1. Kultelan saven oksidianalyysi verrattuna muihin kemiallisiin savianalyysihin. Kaikki luvut prosentteja

	1.	2.	3.
SiO₂	50,00 %	58,67 %	58,67 %
Al₂O₃	17,10 %	16,60 %	16,60 %
Fe₂O₃	9,00 %	5,42 %	5,42 %
K₂O	4,22 %	3,27 %	3,27 %
C	3,70 %	-	-
MgO	3,32 %	2,81 %	2,81 %
Na₂O	1,97 %	2,65 %	2,65 %
CaO	1,51 %	2,17 %	2,17 %
TiO₂	-	0,69 %	0,69 %
FeO	-	2,95 %	2,95 %
H₂O		3,31 %	3,31 %
P₂O₅	-	-	0,36 %
SO₂	-	-	0,19 %
S	-	-	0,17 %
MnO	-	0,11 %	0,11 %
Cl	-	-	0,01 %

1. Kultelan punasaven alkuaineanalyysistä saatu laskennallisesti oksidianalyysi. Testi tehty 28.3.1990. (Pura, sähköpostiviestin välittänyt Auvinen 2.5.2012)
2. Halinen & Romu (1990, 10) taulukko 2. Savien ja graniittisten lähtöainesten kemiallisia koostumuksia. Lounaissaamen lasiaalisavi (Halinen 1988)
3. Jylhä-Vuorio (2003, 49) taulukko 3. Suomalaisen tiilisaven keskimääräinen kemiallinen analyysi (Soveri 1956)

4.2 Kierrätyslasista murskattu lasijauhe

Kierrätetyn lasin käytöstä, joko murskeena, jauheena, vaahtona taikka lasivillana keramiikan lisänä, löytyy tietoa. Aikaisempi tutkimus ja pohjatie-

to saavat aikaan luottamusta, että opinnäytetyössä esitettyihin kysymyksiin löydetään vastaus.

Lasivaahtoa taikka lasimurskaa voidaan käyttää tiilen lauhdutusaineena. Halisen ja Romun mukaan lasivaahdon käyttö on kuitenkin Suomen tiiliteollisuudessa lauhdutusaineena erittäin harvinaista. Vaahdon vaikutus tiilen pakkasenkestävyyteen riippuu muun muassa rakeiden muodosta, pinnan sileydestä tai karkeudesta ja huokoisuudesta. Huokoisuudeltaan tiivis lasimurska parantaa pakkasenkestävyyttä. (Halinen & Romu 1990, 29.)

Myös lasivillasta tiilen apu- tai lisäaineena on tuloksia. Lasivillan on havaittu parantavan tiilen harmaalujuutta eli myös kuivalujuutena tunnettua ominaisuutta, ja laajentavan polttovyöhykettä. Vastaavasti taas polttolämpötilan on havaittu hieman laskevan. Lasivillan on todettu myös lisäävän tuotteiden mittatarkkuutta ja lujuutta, mutta toisaalta tiilen pintaan on noussut rakkuloita. (Halinen & Romu 1990, 32.)

Lasimurskasta on ollut muissakin tutkimuksissa lupaavia tuloksia. Seveliuksen mukaan lasimurska osoittautui hyvin käyttökelpoiseksi keramiikan raaka-aineeksi. Keraamisessa massassa se toimi samalla tavalla kuin hiekka tai molokiitti, eli poltettu kaoliini, se edesauttoi kuivumista ja vähensi halkeamia. Lasimurska kuitenkin toimii sulattajana korkeissa lämpötiloissa. Poltettaessa yli sopivan lämpötilan lasi muodostui pieniksi pisaroiksi laatan pinnalle ja teki laatan pinnasta karhean. Tämän jonka vuoksi sitä ei suositella poltettavan yli 1100 °C. (Sevelius 1997, 68, 78.)

Opinnäytetyössä käytetystä lasijauheesta ei ole erillistä kemiallista analyysä. Tämän vuoksi opinnäytetyössä esitellään erilaisia lasin koostumuksia.

Yleisin käytössä oleva lasityyppi on sooda-kalkkilasi. Tätä lasityyppiä käytetään muun muassa talouslasina, lasipakkauksissa ja -pulloissa. Sooda-kalkkilasi sisältää raaka-aineiltaan 75 % kvartsihiekkää (SiO_2), 16 % soodaa (Na_2CO_3) ja 10 % kalkkia (Ca(OH)_2). Kuitenkin lasin eri käyttötarkoituksiin voidaan haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi valita lukuisia eri kombinaatioita. Erilaisiin tarkoituksiin lasin massasuhteita lienee jo tuhansia. (Tammisto 2007. n.d)

Taulukko 2. Muutamia erikoislasin kemiallisia analyyskejä. Kaikki luvut prosentteja

1.	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
SiO₂	60-62	59	52,0-59,0	53	65	64
Al₂O₃	2,2-3,2	2,05	3,0-4,0	3,6	3	2,75
Fe₂O₃	0,70	0,12	0,06	-	-	-
CaO	0,5-2,5	11,5	1,4-3,8	3,5	0,5	0,18
PbO	0,0-0,1	0,05	14,7-22,7	20,25	4	3,85
Sb₂O	0,25	0,5	0,05	-	-	-
Sb₂O₃	-	-	-	-	-	-
As₂O	0,20	0,02	0,01	-	-	-
As₂O₃	-	-	-	-	-	-
MnO₂	-	-	-	-	-	-
MgO	0,2-1,3	0,33	1,0-1,8	1,5	-	0,05
Na₂O	8,0-8,6	6,6	6,3-6,8	5,45	7	6,6
K₂O	7,0-7,5	7,3	7,8-9,7	8,05	7	6,95
B₂O₃	-	-	-	-	-	-
BaO	10-12	11,5	1,0-1,95	3,5	11	11,05
ZnO	-	0,6	-	0,06	0,05	-
SrO	1,5-8,5	8,65	0,15-0,5	0,5	-	-
ZrO₂	0,2-1,5	0,95	0,08	0,1	-	-
TiO₂	0,40	0,6	0,05	0,07	-	-
CeO₂	0,25	-	-	-	-	-

1. Tyypillisiä television ja pc:n paneeli ja kaulalasikoostumuksia. (Siikamäki & Leppänen, 2003, 5 - 6) Lohkot: **1.1** Väri TV, paneelilasi. **1.2** Väri PC, paneelilasi. **1.3** Väri TV kartiolasi. **1.4** Väri PC kartiolasi. **1.5** Mustavalko TV paneeli. **1.6** Mustavalko PC paneeli

Taulukko 3. Muutamia erikoislasin kemiallisia analyysejä. Kaikki luvut prosentteja

2.	2.1	2.2	2.3	2.4
SiO₂	60-63	53-55	69	67-81
Al₂O₃	2-3,4	1-5,2	2-4	2,0-7
Fe₂O₃	-	-	0-1	0,01-2
CaO	0-3,2	0,9-3,8	4-5	0,01-1,5
PbO	-	14-23	-	-
Sb₂O	-	-	-	-
Sb₂O₃	0,15-0,8	0-0,35	0-0,9	-
As₂O	-	-	-	-
As₂O₃	0-0,3	0-0,03	0-0,06	0-0,06
MnO₂	-	-	-	0,01-5
MgO	0-1,2	0,6-2,2	2-3	0,01-0,5
Na₂O	6,6-9,4	5,8-6,7	9-16	3,5-12
K₂O	6,6-8,4	7,8-8,1	1-11	0,01-2,5
B₂O₃	-	-	1	1- 13
BaO	8,3-13	0-2,5	1-6	0,01-3,5
ZnO	0-0,8	0-0,8	-	-
SrO	2,2-8,8	0-0,5	-	-
ZrO₂	0-2,3	0-0,2	-	0,01-1
TiO₂	-	-	-	0,01-5
CeO₂	-	-	0-1	-

2. Chemical composition of the main products of the special glass sector. IPPC eli erilaisia erikoislasin koostumuksia Euroopan lasijätteestä (Viitattu 22.10.2012) Lohkot: **2.1** CRT glass, panel. **2.2** CRT glass, funnel. **2.3** Glass tube, sode-lime-silica glass. **2.4** Glass tube, Borosilicate glass.

Uusioaines Oy:n tuotekehityspäällikkö Tommi Lehtisalon mukaan Rifolasi-projektin käytössä oleva lasijauhe on hiukkaskooltaan noin 150 mikronia. Lasijauheen joukossa on myös hieman hienompaa sekä karkeampaa laatua, sillä kierrätyslasin murskaaminen kuulamyllyssä on jatkuva prosessi. (Lehtisalo, puhelinkeskustelu 8.10.2012.)

Tämän opinnäytetyön aikana käytettävän lasijauheen tarkkaa raekokoa ei saatu selvitettyä. Tämän vuoksi työn aikana oletetaan, että käytettävässä lasijauheessa on montaa erilaista raekokoa.

4.3 Deflokkulantti

Deflokkulantit ovat aineita, jotka saavat saven savihiukkaset hylkimään toisiaan. Niiden avulla voidaan saviliete pitää juoksevana varsin pienilläkin vesimäärillä. Deflokkuloinnin laajin sovellus keramiikan valmistuksessa ovat valumassat. (Jylhä-Vuorio 2003, 63.)

Tässä opinnäytetyössä toteutetuissa punasaven valumassa koesarjoissa käytettiin yleisesti helppoa ja luotettavaksi tiedettyä kaupallista deflokkulanttia, elektrolyytti Dispexiä, jota maahantuo Varnia Oy. Kuten monet muutkin kaupalliset valmisteet, Dispex on orgaaninen suola. Tarkemmin sanottuna se on polyakrylaatti eli akryylihapon CHO_2 suoloja. Deflokkulantin määräksi valumassassa päätettiin käyttää yleistä suositusta, mikä on 0,2 % massan kuivapainosta. (Vesterinen 1994, 9.)

Tiksotropia on deflokkuloidun valusaven myötä tapahtuva ilmiö. Tiksotopiaksi kutsutaan tapahtumaa, jossa pitkään seisoneen savilietteen hiukkaset kääntyilevät vastakkaisesti varautuneiden savihiukkasten tasopintoihin kiinni muodostaen korttitalomaisen rakennelman. Tämä siis aiheuttaa sen, että pitkään sekoittamatta oleva valusavi alkaa hiljalleen jähmettyä. Tiksotropialle on tunnusomaista, että se katoaa saviseosta sekoitettaessa. Tiksotropia on hyödyllinen, sillä se nopeuttaa valukappaleen seinämän muodostumista. (Jylhä-Vuorio 2003, 62.)

Opinnäytetyön aikana tehtyjen koesarjojen kohdalla tiksotropia oli haastava ilmiö. Punasavivalumassalla on taipumus hyytyä nopeasti. Tästä syystä 10 minuutin avovalun jälkeen saattoi valukappale kipsimuotteineen vaatia pientä pyörittämistä, jotta ylimääräinen valusavi saisi juoksevuutensa takaisin. Myös jokaista koevalua edeltävä koemassan seulominen edisti massan juoksevuutta ja vähensi valun aikana tapahtuvaa tiksotropiaa.

4.4 Muut käytettävät apuaineet

Jotta valuesineitä voidaan valaa, on oltava muotteja. Kaikki tämän opinnäytetyön aikana tehty valuun käytettävät muotit oli tehty pehmeästä Supraduro kipsimassasta. Muotteja oli kahta tyyppiä, eli avovalu- ja umpivalumuotteja. Avovalumuotteja oli kolmenlaista: kuusikulmion muotoinen muotti, suorakaiteen muotoinen mittavalumuotti sekä 2 dl vetoinen mukimuotti. Mittavalumuotti oli pohja-alaltaan 50 x 100 mm. Mukimuotia käytettiin toisen koesarjan aikana. Käytetty umpivalumuotti oli kuusikulmion muotoinen.

Kaikki koesarjat poltettiin hapettavalla poltolla sähköuunissa. Koepalat pyrittiin asettelemaan uunin keskivaiheille, niin että uunin sisäiset lämpötilaerot vaikuttaisivat polttoon mahdollisimman vähän.

Polton sisäisiä lämpötilaeroja pyrittiin tarkkailemaan polttorenkailla (PTCR- process temperature control rings). Polttojen mukana ollut rengas oli LTH merkiltään 108, eli raakaväritään punainen ja mittasi lämpötiloja väliltä 965 – 1250 °C. Lämpötilan muutos saatiin selville mittaamalla polttorenkään kutistuma.

5 PUNASAVI JA LASIJAUHE -VALUSAVISARJA

5.1 Valuprosessi

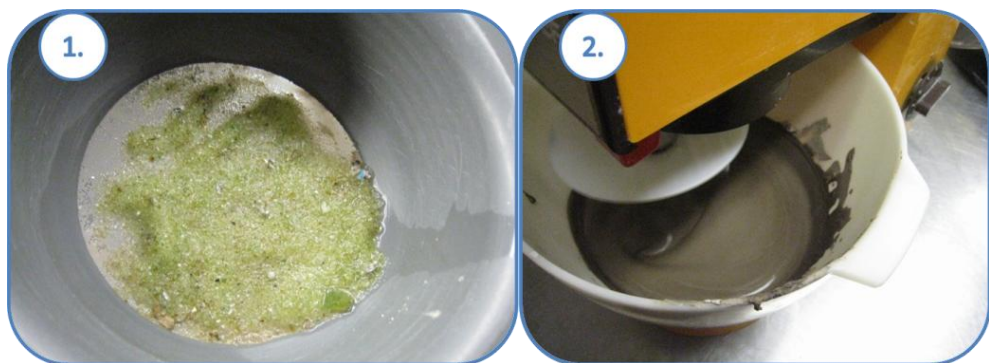
Saavuttaakseni selkeän ja helposti toistettavan prosessin, päätin koemassojen tehdessäni ja niitä valaessani käyttää yleisiä ja yksinkertaisia toimintatapoja. Tällöin jokainen koemassa sekä valu ovat helposti toistettavissa uudelleen.

Kaikista koemassoista päätettiin tehdä kuiva-ainemäärältään kilon painoisia. Kilon kuiva-ainemäärä on tarpeeksi suuri, jotta siitä saa suuntaa-antavaa kuvaa valumassan ominaisuuksista, mutta tarpeeksi pieni, ettei koemassojen karttuessa mene raaka-aineita hukkaan.

Koevalumassat valmistettiin noudattaen Jylhä-Vuorion yleisiä ohjeita. Näin toimien raaka-aineet sekoitettiin kuumaan veteen. Jotta savihiukkasten liettyminen saataisiin tehokkaammaksi, lisättiin veteen ensin plastiset aineet eli punasavi. Koska deflokkulantti kehoitettiin lisäämään massaan plastisten aineiden jälkeen, lisättiin deflokkulantti punasaven jälkeen. Viimeisenä massaan lisättiin epäplastiset aineet, kuten lasijauhe. (Jylhä-Vuorio 2003, 72–73.)

Samoin kuin Vesterinen, annoin massan liettyä vuorokauden ennen sekoittamista. En sekoittanut epäplastisia aineita mukaan massaan vasta vuorokauden jälkeen vaan lisäsin epäplastiset aineet massaan ensimmäisessä vaiheessa. Yön yli iästynyttä massaa sekoitettiin 30 minuuttia. (Vesterinen 1994, 14.)

Jokainen koemassa seulottiin käyttämällä tavallista, miltei jokaisesta kaupasta löytyvää ja elintarvikekäyttöön tarkoitettua seula. Ratkaisuun päädyttiin, koska jo 50 meshin silmukkatheydellä saattoi seulaan jäädä niin paljon lasimurskaa, että se vaikuttaisi koe-erän ainesuhteisiin. Tavallinen seula oli kuitenkin tarpeeksi tiheä, että lasijauheessa olevat epäpuhtaudet kuten metallinpalat sekä muovinkappaleet jäivät seulaan.



Kuva 1. 1. 50 meshin seulaan jäi huomattava määrä lasijauhea. 2. koemassat sekoitettiin Kenwood Cheff taikinakoneella

Kaikkien avovalujen annettiin valautua 10 minuuttia. Kaikki umpivalut saivat olla suljetussa muotissa 45 minuuttia, minkä jälkeen muotti avattiin, mikäli mahdollista. Näin toimimalla pyrittiin saamaan kaikista koemasoista tasapuolinen tulos.



Kuvio 3. Massan teon ja valun kulku

Kun koepala on ilmakuiva, se punnitaan ja mitataan. Polton jälkeen koepalat punnitaan ja mitataan uudestaan.

Jokainen koemassa seulottiin ennen valua. Seulomalla eliminoitiin saveen eksyneitä ei-toivottuja epäpuhtauksia. Lisäksi koemassan seulominen edisti massan juoksevuutta ja vähensi valun aikana tapahtuvaa tiksotropiaa.

5.2 Koesarja 1

Ensimmäisessä valusarjassa haettiin karkeaa kuvaa siitä, millaisilla seossuhteilla mahdollistuisi punasaven ja lasijauheen yhdistämisen valettavaksi massaksi. Tämän vuoksi ensimmäisessä koesarjassa testattiin ääripäät.

Taulukko 4. Koesarja 1 ainesmäärät.

Koesarja 1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
Punasavi (%) ¹	70	65	60	55	50	45	40	35	30
Lasijauhe (%) ²	30	35	40	45	50	55	60	65	70
+ deflokkulanti (%) ³	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
+ vesi (%)	37	37	37	37	37	37	37	37	37

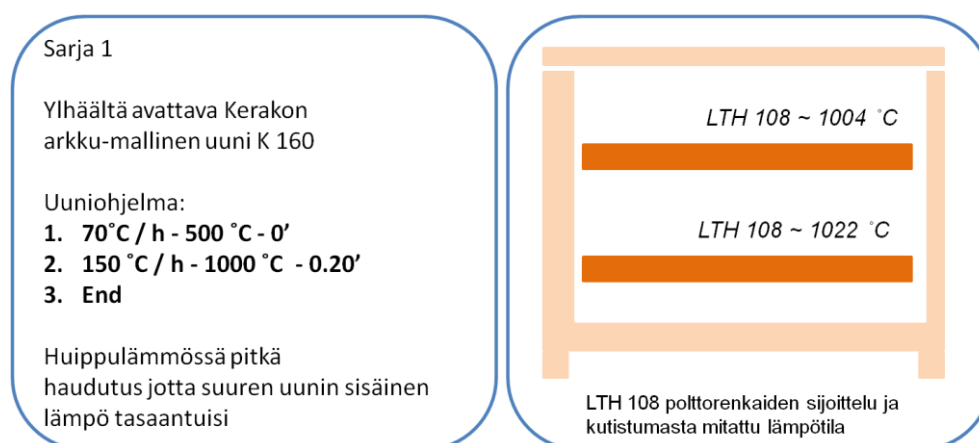
1. Someron punasavi, Kultelan tiiliputki

2. Lasijauhe, Uusioaines Oy

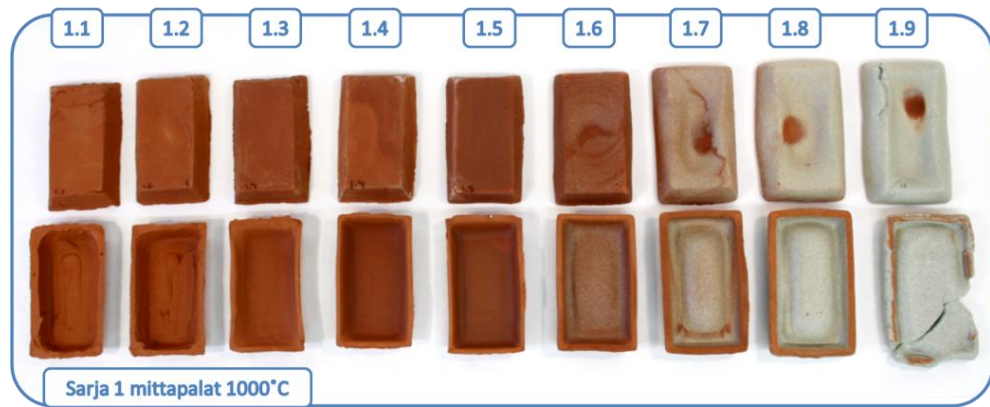
3. Elektrolyytti Dispex, maahantuoja Varnia Oy

Kaikki sarjan 1 koepalat poltettiin samassa poltossa. Koekappaleet ladottiin tasaisesti uunin keskivaiheille. Lisäksi poltossa oli mukana kaksi kappaletta LTH 108 polttorenkaita, joista toinen sijoitettiin uunin keskivaiheille ja toinen ylemmälle levylle.

Taulukko 5. Koesarja 1 uuniohjelma, polttorenkaiden paikat sekä polttorenkaiden mukaiset lämpötilat



Saaduista tuloksista näkyy, kuinka paljon lasijauheen lisääminen sekä punasaven vähentäminen valumassasta vaikuttaa kappaleeseen. Poltetuissa koekappaleissa erityisesti lasijauheen suuri määrä näkyy värimuutoksena, muodon menettämisenä sekä sulamisena.

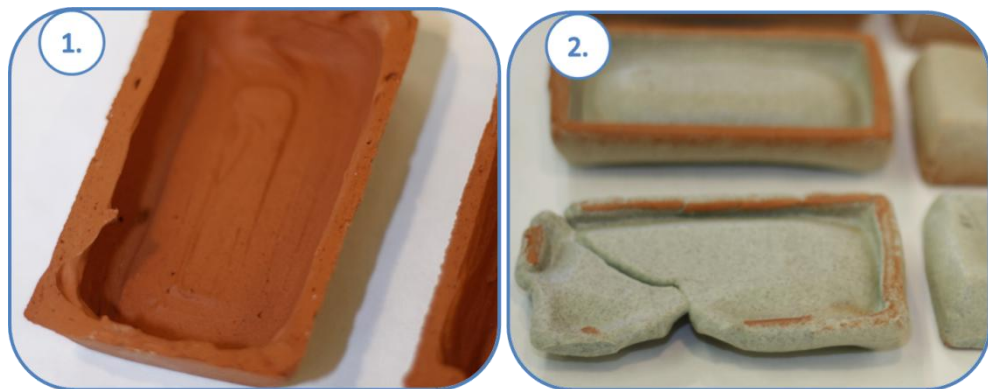


Kuva 2. Koesarjan 1 tulokset

Sarja 1 saavutti tavoitteensa. Tämän sarjan avulla saatiin karkea kuva siitä, millaiset käyttäytymisominaisuudet erilaisilla massasuhteilla on.

Runsaasti punasavea sisältävät massa, kuten koemassat 1.1–1.3, eivät olleet juoksevia, vaan mutamaista jähmeää massaa. Punasavipitoiset massat kuitenkin rakensivat seinämää hyvin. Umpivaluun runsaasti punasavea sisältävät massat eivät soveltuneet. Lasijauhoa lisääessä massan juoksevuus parani. Lisättävän lasijauheen määrä vähensi myös kuivakutistumista.

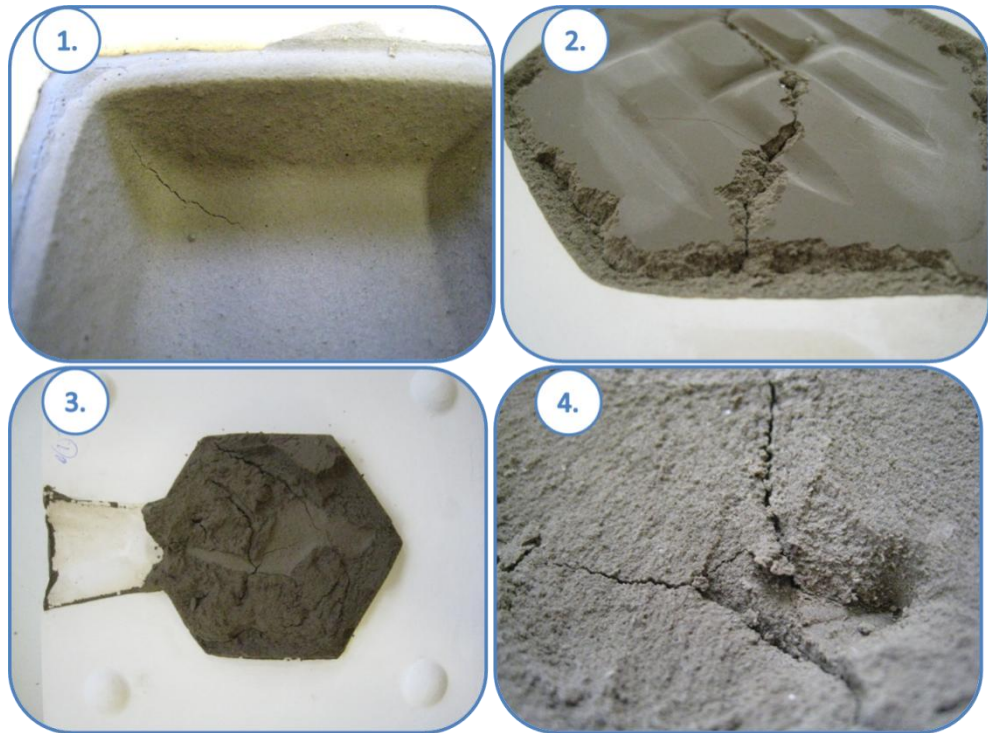
Suuri lasijauheen määrä laski koemassan sulamispistettä. Vähäistä muodon menettämistä ~ 1000 °C huippulämpötilassa havaittiin jo koemassassa 1.6, missä lasijauheen osuus on vasta 55 % kappaleesta. Sulaminen oli kuitenkin huomattavaa vasta massoissa 1.8 sekä 1.9. Erityisesti jälkimäinen oli menettänyt kokonaan muotonsa.



Kuva 3. Koesarjan 1 koemassoissa esiintyviä ilmiöitä: 1. Koemassan 1.1 70 %:n punasavimäärä tekee esineestä mutamaisen, eikä massa juokse kauniisti muotista kaadettaessa, vaan ylimääräinen massa jopa kaavittava ulos. 2. Koemassan 1.9 70 % lasijauhetta sisältävä koekappale on poltossa sulanut ja menettänyt muotonsa

Haasteeksi osoittautui runsaasti lasijauhoa sisältävien massojen jääminen muotteihin kiinni. Kiinnijääminen johtui todennäköisesti lasijauheen alkalisuudesta ja pienestä hiukkaskoosta, sekä näiden yhdistelmästä. Kiinnijäämiseen vaikuttivat myös punasaven sisältämät orgaaniset suolat, jotka tarttuvat kiinni kipsimuotin pintaan. Tämä näkyi erityisesti umpivalussa. Koemassat 1.7 sekä 1.8 eivät irronneet enää kunnolla vaan vaurioituvat

pinnalta. Koemassan 1.9 umpivalukappale ei enää irronnut muotista lainkaan. Myös 1.9 massan avovalukappale vaurioitui muotista irrotettaessa.



Kuva 4. Muottiin jääneitä koemassoja. 1. Koemassan 1.9 mittavalumuotti. 2. Koemassan 1.8 umpivalumuotti. 3. Koemassan 1.9 muotin yläosaan kiinni jäänytä massaa. 4. Lähikuva 1.9 koemassan hajonneesta umpivalukappaleesta.

Lisäksi valettavuuteen vaikutti veden määrä. Siksi seuraaviin koesarjoihin päätettiin vähentää veden määrää.

5.3 Koesarja 2

Toisessa valusarjassa rajattiin pois kehityskelpaamattomia koemassoja. Tärkeimmäksi tekijäksi toisessa valusarjassa muodostui polttolämpötilan vaikutus erilaisiin koemassoihin. Sarjassa 2 valettiin mittapalojen lisäksi enimmäkseen umpivalukappaleita sekä mukeja. Lisäksi veden määrää vähennettiin.

Taulukko 6. Koesarjan 2 ainesmäärät

Koesarja 2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Punasavi (%) ¹	60	55	50	45	40
Lasijauhe (%) ²	40	45	50	55	60
+ deflokkulanti (%) ³	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
+ vesi (%)	35	35	35	35	35

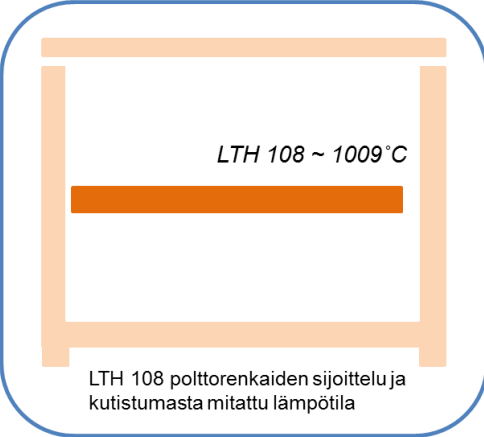
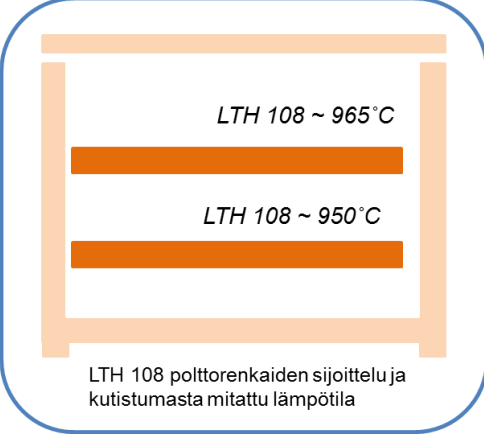
1. Someron punasavi, Kultelan tiiliputki

2. Lasijauhe, Uusioaines Oy

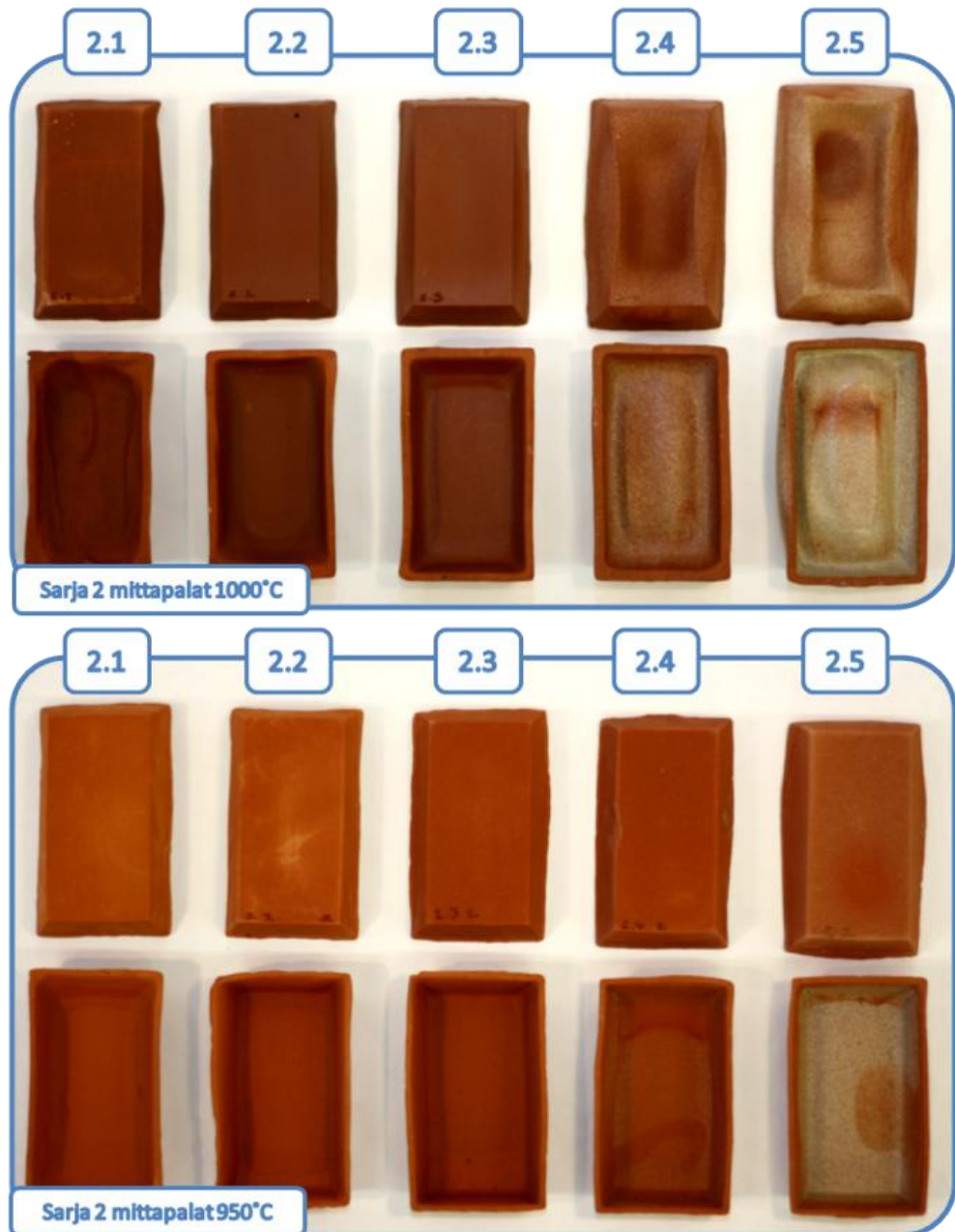
3. Elektrolyytti Dispex, maahantuoja Varnia Oy

Sarjaa 2 tehtiin kaksi samanlaista koesarjaa. Nämä sarjat poltettiin huippulämpötilaltaan erilaisissa lämpötiloissa.

Taulukko 7. Koesarjan 2 molemmat uuniohjelmat, polttorenkaiden paikat sekä polttorenkaiden mukaiset lämpötilat

<p>Sarja 2 1000 °C</p> <p>Ylhäältä avattava Rohde arkku-mallinen uuni TE 110Q</p> <p>Uuniohjelma:</p> <ol style="list-style-type: none"> 70 °C / h - 500 °C - 0' 150 °C / h - 1000 °C - 0.10' End <p>Huippulämmön haudutus lyhennetty pienemmän uunin käytön takia</p>	 <p>LTH 108 ~ 1009°C</p> <p>LTH 108 polttorenkaiden sijoittelu ja kutistumasta mitattu lämpötila</p>
<p>Sarja 2 950 °C</p> <p>Ylhäältä avattava Rohde arkku-mallinen uuni TE 110Q</p> <p>Uuniohjelma:</p> <ol style="list-style-type: none"> 70 °C / h - 500 °C - 0' 150 °C / h - 950 °C - 0.10' End <p>Huippulämmön haudutus lyhennetty pienemmän uunin käytön takia</p>	 <p>LTH 108 ~ 965°C</p> <p>LTH 108 ~ 950°C</p> <p>LTH 108 polttorenkaiden sijoittelu ja kutistumasta mitattu lämpötila</p>

Kahden polton huippulämmön lämpötilaero oli noin 50 °C. Saatu polttotulos osoitti selkeästi miten lämpötila vaikutti koemassoihin.



Kuva 5. Koesarjan 2 tulokset

Jotta lasijauheen aiheuttama sulaminen saataisiin kunnolla havainnollistettua, valettiin sarjan 2 koemassoista mukeja. On selvää, että jo pieni lasimäärän muutos saa laskettua esineen sulamispistettä tarpeeksi, jotta esine menettää muotonsa. On myös huomioitava, että polttolämpötilan muutos vaikuttaa huomattavasti esineen käyttäytymiseen poltossa. Tulevissa kehittäelyissä on tärkeää säätää sekä lasijauheen määrä että polttolämpötila kohdalleen.



Kuva 6. Koesarjan 2 polttolämpötilan vaikutukset valettuun esineeseen

Mukien lisäksi sarjan 2 aikana valettiin runsaasti umpivaluja vaihtelevin tuloksin. Liian punasavipitoinen koemassa tukki umpivalumuotin kaato-aukon siten, että muotti ei täyttynyt kunnolla. Suuri lasipitoisuus aiheutti sen, että umpivaluesineen sisäosat jähmettyvät erittäin hitaasti eivätkä välttämättä pitäneet kappaleen rakennetta, kun valuesine irrotettiin muotista. Runsaasti lasijauhetta sisältävien massojen umpivalujen onnistumiseen olisi voitu vaikuttaa, mikäli valuajan olisi annettu olevan pidempi. Kuitenkin tasapuolisten tulosten nimissä kaikkien massojen annettiin valautua vain 45 minuuttia, eikä aikaa muuteltu työprosessin keskellä.



Kuva 7. Sarjan 2 aikana epäonnistuneita umpivaluja: 1. koemassan 2.1 suuri punasavipitoisuus (60 %) tukki umpivalumuotin ennen kuin muotti oli täynnä. 2. koemassan 2.5 juokseva sisus valahti ulos muotista irrotettaessa. Tämä massa olisi selkeästi vaatinut pidemmän valuajan.

5.4 Koesarja 3

Kolmannessa valusarjassa sekoitettiin parhaimmaksi koettuun seosyhtälöön liitua. Liitu kuitenkin asettaa omat haasteensa massan käyttäytymiseen niin valaessa, poltettaessa kuin polton jälkeenkin. Liitua päätettiin

kuitenkin lisätä, koska liitu on hyvä täyteaine. Lisäksi haluttiin nähdä, kuinka liidun väriä muuttavat ominaisuudet toimivat lasijauhetta ja punasavea sisältävässä massassa.

Liitu (CaCO_3) käy hyvin täytemateriaaliksi alle $1100\text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilassa poltettaviin massoihin. CaCO_3 hajoaa noin $825\text{ }^\circ\text{C}$:n lämmössä, jolloin reaktiossa poistuu CO_2 ja massaan jää CaO :ta eli kalsiumoksidia. Kalsiumoksidi muuttaa punasavimassan väriä kellertäväksi ja on yli $1100\text{ }^\circ\text{C}$ poltettaessa voimakas sulattaja, jota on vaikea hallita. Jos kalsiumoksidi jää taas alipolttoiseksi, on vaarana, että osa CaO :sta ei sitoudu massan muihin aineisiin. Vapaaksi jäänyt CaO imee polton jälkeen kosteutta, joka turvotessaan vaurioittaa esinettä. (Jylhä-Vuorio 2003, 57.)

Taulukko 8. Koesarja 3 ainesmäärät

Koesarja 3	3.1	3.2	3.3	3.4
Punasavi (%) ¹	60	50	50	50
Lasijauhe (%) ²	40	50	50	50
+ deflokkulantti (%) ³	0,2	0,2	0,2	0,2
+ liitu (%) ⁴	5	10	15	20
+ vesi (%)	35	35	35	35

1. Someron punasavi, Kultelan tiiliputki

2. Lasijauhe, Uusioaines Oy

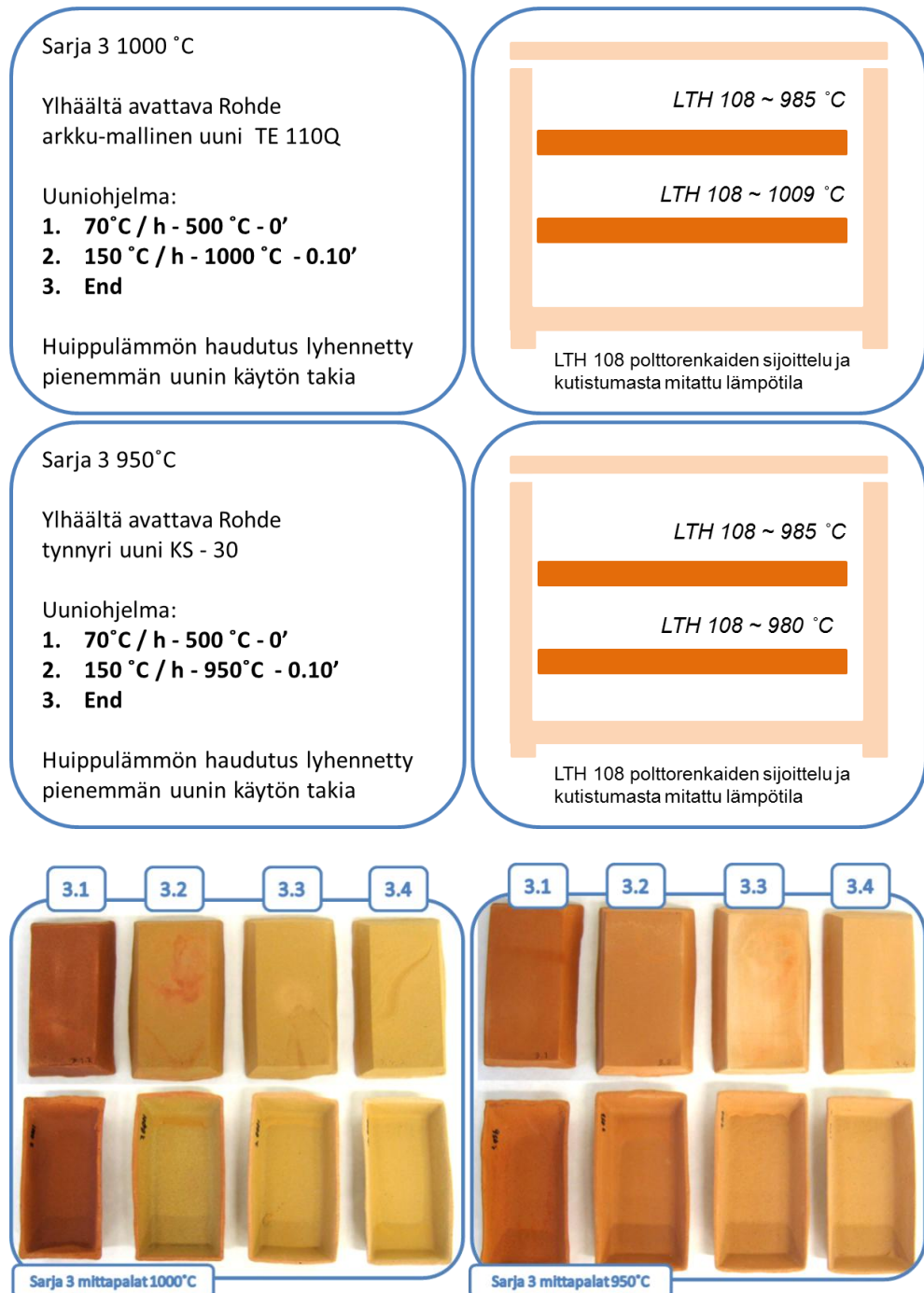
3. Elektrolyytti Dispex, maahantuoja Varnia Oy

4. Liitu Queensfil, maahantuoja Varnia Oy

Kolmannen sarjan koemassa 3.1 eroaa lopuista kolmannen sarjan koemassoista. Tämä johtuu siitä, että alun perin koko kolmannen sarjan seossuhteeksi suunniteltiin olevan punasavi 60 % sekä lasijauhe 40 %. Kun koemassa 3.1 saatiin tehtyä, huomattiin kuitenkin sen valuominaisuuksien olevan tarpeettoman huonot juuri lisätyn liidun takia. Tämän vuoksi lopuihin kolmannen sarjan koemassoihin muutettiin punasaven ja lasijauheen seossuhteeksi 50 %. Tämä muutos paransi huomattavasti kolmannen sarjan muiden koemassojen valuominaisuuksia.

Kuten toisen koesarjan kanssa tehtiin, myös kolmannen koesarjan kohdalla poltettiin koemassat sekä $1000\text{ }^\circ\text{C}$:n että $950\text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa. Sarjan 3 $950\text{ }^\circ\text{C}$ koepalat poltettiin eri uunissa. Tämä uuni kuitenkin poltti sarjan korkeammalle suunnitellusta huippulämpötilasta.

Taulukko 9. Koesarjan 3 molemmat uuniohjelmat, polttorenkaiden paikat sekä polttorenkaiden mukaiset lämpötilat



Kuva 8. Koesarjan 3 tulokset

Liidun lisääminen muutti koekappaleen väriä huomattavasti. Liitu ei kuitenkaan sopivan lasijauheen ja punasavisuhteen löydyttyä vaikuttanut muihin ominaisuuksiin huomattavasti. Jatkokehityksessä olisi hyvä selvittää, miten lasijauheen prosenttimäärän lisääminen massasta vaikuttaa punasavea ja liitua sisältävään valusaveen.

Liitu sitoutui sekä sekoittui hyvin massaan, eikä esinettä vääristäviä turvoksia esiintynyt. Sen sijaan 1000 °C lämpötilaan poltetu koemassa 3.4 vaikutti sulaneelta. Voidaan olettaa, että lasijauhe laskee myös liitua sisältävän massan sulamislämpötilaa. Koekappaleet eivät kuitenkaan sulaneet hallitsemattomasti, joten kriittinen sulamispiste ei vielä 1000 °C lämpötilassa toteutunut.

6 KOESARJOJEN MITTAUSTULOKSET

Seuraavissa kappaleissa kerrotaan saaduista tuloksista yleisluontoisesti. Tällöin taulukoissa kerrotut mitat ovat keskiarvoja saaduista tuloksista. Tarkat mittatulokset löytyvät opinnäytetyön liitteistä.

6.1 Kutistuvuus

Opinnäytetyön aikana saaduista koekappaleista mitattiin kahdenlaisella tavalla kutistuvuutta. Kaikista kappaleista punnittiin paino raakana sekä poltettuna. Lisäksi valetuista mittapaloista mitattiin pituudet sekä raakana että poltettuna.

Mittapalat valettiin käyttäen suorakaiteen muotoista avovalumuottia. Mittamuotti on pohjaltaan 50 x 100 mm.

Kaikissa punnituissa, mitatuissa, lasketuissa sekä ilmoitetuissa luvuissa on tässä opinnäyteydessä oltava tarkkana. Kaikki mittaukset sekä punnitukset on tehty käsin, työntömitalla sekä pöytävaa'alla. Ilmakuiva koekappale ei ole täysin kuiva, sillä siihen vaikuttaa sen ilmatilan kosteusprosentti, missä pala kuivuu. Jokaisesta koemassasta on ollut noin 4-8 koepalaa, mikä ei anna luotettavaa ja kattavaa otantaa. Saadut tulokset on pyöristetty kahteen desimaaliin. Jokaisen mitatun koekappaleen tulokset on laskettu massa-kohtaiseksi keskiarvoksi.

On huomioitava, että seuraavissa taulukoissa annetut luvut ovat suuntaa-antavia. Näillä on tarkoitus saada karkea kuva siitä, miten tietty massasuhde vaikuttaa massan ominaisuuksiin.

Taulukko 10. Koekappaleiden poltetun kappaleen painomuutos verrattuna ilmakeivään kappaleeseen. Painomuutokset ilmoitetaan prosenteissa

1	1000 °C	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
		-4,29	-4,00	-3,72	-3,44	-3,27	-2,97	-2,63	-2,86	-1,98
2	1000°C			2.1	2.2	2.3	2.4	2.5		
				-3,75	-3,51	-3,24	-2,96	-2,87		
2	950°C			2.1	2.2	2.3	2.4	2.5		
				-4,60	-4,91	-4,82	-4,66	-3,69		
3	1000°C			3.1	3.2	3.3	3.4			
				-6,27	-6,55	-8,91	-10,29			
3	950°C			3.1	3.2	3.3	3.4			
				-6,32	-8,30	-9,69	-10,73			

Vaikka taulukko yhdeksässä annetut luvut ovat karkeita, niistä saadaan kuitenkin suuntaa-antava käsitys koemassojen ominaisuuksista. Tuloksista voidaan nähdä, että runsaasti lasijauhetta sisältävien massojen polttopainoero ilmakeivään ei ole kovinkaan suuri. Lisäksi voidaan huomata että matalammalle poltetut kappaleet ovat keveämpiä kuin korkealle poltetut.

Jokaisesta koemassan mittapalasta laskettiin pinta-ala. Pinta-ala laskettiin sekä ilmakeivästä mittapalasta sekä raakapoltetusta mittapalasta. Saatua tuloksia verrattiin mittapalamuottiin sekä keskenään. Pinta-alojen mittaamista haittasi huomattavasti, jos mitattava kappale oli polton aikana sulanut. Tämän vuoksi sulaneet koemassat on esitetty mukana taulukossa värikköinä.

Pinta-alan kutistumaprosentti on saatu, kun on verrattu, kuinka monta prosenttia pienempi poltetun kappaleen pinta-ala on verrattuna muotin pinta-alaan.

Taulukko 11. Koesarjojen poltetun mittakappaleen pinta-alan kutistuminen verrattuna muottiin. Muutos ilmoitetaan prosenteissa

1	1000 °C	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
		20,37	19,00	20,79	20,25	14,49	7,55	6,25	5,46	-
2	1000 °C			2.1	2.2	2.3	2.4	2.5		
				21,46	21,01	19,38	18,31	23,89		
2	950 °C			2.1	2.2	2.3	2.4	2.5		
				13,23	14,02	16,04	15,73	11,74		
3	1000 °C			3.1	3.2	3.3	3.4			
				17,37	16,93	14,16	13,51			
3	950 °C			3.1	3.2	3.3	3.4			
				12,68	9,18	6,88	6,88			

 = Vähäinen muodon menetys
 = Huomattava muodon menetys

Runsaasti punasavea sisältävät massat kutistuvat voimakkaasti. Lasijauhetta sisältävät massat kutistuvat tiettyyn pisteeseen, minkä jälkeen sulaaminen vaikuttaa mittakappaleen muotoon. Korkea polttolämpötila kutistaa kappaletta huomattavasti. Liitu lisäaineena massassa vähentää kutistumaa.

6.2 Vedenimu

Vedenimukyky ilmoittaa tiilen tai tiililaatan imemän vesimäärän painoprosentteina kuivapainosta. Vedenimukyky riippuu huokoisuudesta, huokosten koosta ja muodosta ja on sitä pienempi, mitä korkeammassa lämpötilassa tiili on poltettu. (Siikanen 2001, 81.)

Opinnäytetyön aikana saaduista koekappaleista tehtiin kahdenlaiset vedenimukokeet. Sarjan 1 ja sarjan 2 valmistuttua tehtiin näiden sarjojen koepaloille vedenimutesti noudattaen Jylhä - Vuorion yleisiä ohjeita. (Jylhä - Vuorio 2003, 225.)

Taulukko 12. Vedenimutesti Jylhä – Vuorion mukaan



Jylhä-Vuorion vedenimutesti oli kuitenkin erittäin suurpiirteinen, eivätkä testin tulokset olleet luotettavia. Vedessä kiehuneen ja siitä suoraan vaa'alle nostetun kappaleen lämpötila muuttui jatkuvasti. Välittömästi keittämisen jälkeen punnitun sekä hetkeksi pöydälle jätetyn kappaleen ominaispainon ero saattoi olla huomattava. Tämä johtui siitä, että lämmin testikappale haihdutti vettä huomattavasti. Oli mahdotonta määrittää kaikille koepaloille samanmittaista aikaa, jossa siirtää kappale vedestä punnitukseen. Vaihtelevien tulosten takia Jylhä-Vuorion vedenimutesti hylättiin.

Toiseksi vedenimukokeeksi valittiin SFS-EN 771-1 -standardissa esitetty SFS-EN 772-21. Tätä SFS-EN 772-21 -standardia on hyödynnetty aiemminkin koulussamme ja siitä on suotuisia kokemuksia.

Taulukko 13. Vedenimutesti SFS-EN 772-21 -standardin mukaan



Vedenimuprosentti saatiin selvittämällä kuinka, monta prosenttia vedessä olleen kappaleen paino on muuttunut kuivaan kappaleeseen verrattuna eli kuinka monta prosenttia märän kappaleen paino eroaa kuivasta.

<p>Ve = Vedenimeytyminen</p> <p>Mv = Mitä kappale painaa oltuaan vedessä</p> <p>Mk = Mitä kappale painaa kuivana lämmityksen jälkeen</p>	$\text{Ve} = \frac{\text{Mv} - \text{Mk}}{\text{Mk}} \times 100 \%$
---	---

Kuvio 4. SFS-EN 772-21 -standardin mukainen laskukaava vedenimuprosentille

SFS-EN 772-21 -standardin mukainen testimenetelmällä testattiin koesarjat 1, 2 ja 3. Standardin mukaan kuitenkin luotettava koeotanta vaatii 6 kappaletta kutakin koemassaa, mitä ei kaikista koemassoista ollut. Tällöin kokeet tehtiin sillä kappalemäärällä mitä oli.

Taulukko 14. Vedenimutesti SFS- EN 772-21:ssa testatut kappalemäärät.

1	1000 °C	1.1 4 kpl	1.2 3 kpl	1.3 3 kpl	1.4 4 kpl	1.5 3 kpl	1.6 4 kpl	1.7 4 kpl	1.8 6 kpl	1.9 -
2	1000 °C			2.1 -	2.2 -	2.3 -	2.4 -	2.5 -		
2	950 °C			2.1 5 kpl	2.2 -	2.3 -	2.4 -	2.5 -		
3	1000 °C			3.1 3 kpl	3.2 5 kpl	3.3 6 kpl	3.4 6 kpl			
3	950 °C			3.1 3 kpl	3.2 3 kpl	3.3 3 kpl	3.4 3 kpl			

= virallinen kappalemäärä joka edellytetään

Alla esitetään SFS-EN 772-21 -testin mukaisen kokeen vedenimuarvot. Arvot on laskettu keskiarvoina. Vaikka keskiarvot ovat suuntaa antavia, voidaan todeta, että lasijauheen määrä vähentää vedenimukykyä, samoin kuin korkeampi polttolämpötila. Sen sijaan punasaven ja liidun määrä, sekä alhaisempi polttolämpötila, jättää kappaleen huokoisemmaksi eli nostaa kappaleen vedenimukykyä.

Taulukko 15. Vedenimutesti SFS-EN 772-21 -tulosten keskiarvo. Kaikki luvut ovat prosentteja

1	1000 °C	1.1 0,06	1.2 0,05	1.3 0,02	1.4 0,004	1.5 0,003	1.6 0,002	1.7 0,003	1.8 0,003	1.9 -
2	1000 °C			2.1 -	2.2 -	2.3 -	2.4 -	2.5 -		
2	950 °C			2.1 0,09	2.2 -	2.3 -	2.4 -	2.5 -		
3	1000 °C			3.1 0,04	3.2 0,03	3.3 0,03	3.4 0,05			
3	950 °C			3.1 0,09	3.2 0,06	3.3 0,06	3.4 0,10			

Vedenimukyvyn vaatimukset vaihtelevat siitä, mihin tarkoitukseen keraamista elementtiä halutaan käyttää. Vuonna 1993 julkaistun RT 35–10500 mukaan tiilen vedenimukyky on noin 7...20 painoprosenttia. Vuonna 2001 julkaistun RT 34–10763 mukaan uima-altaiden laatoituksiin ja ulkotilojen

laatoittamiseen käytettävien keraamisten laattojen vedenimukyky saa olla enintään 1 %. (RT 35–10500, 1993; RT 34–10763, 2001).

Lasijauheen lisääminen laskee punasavivalumassan sulamispistettä. Korkeammalle poltettu koekappale on tiiviimpi kuin matalalle poltettu. Jokaisen koemassan vedenimu on lähes 0 %.

Tämän opinnäytetyön vedenimukokeiden tuloksista on hyvä huomioida, että inhimillisen erehtymisen mahdollisuus on tuloksissa suuri. Koemassoja tehtiin rajoitettuja eriä, minkä vuoksi testattavia koepaloja oli myös rajallinen määrä. Tulokset ovat siis suuntaa-antavia.

7 TULOKSET

7.1 Yhteenveto koesarjoista

Koesarja eteni, kuten prosessinkuvauksessa oli suunniteltu. Hyväksi havaittua massaa jatkettiin seuraavassa sarjassa. Koesarjojen aikana tärkeäsi nousi seikka, miten erilaisen ainemäärät sekä tietynlainen poltto-ohjelma vaikuttaa punasaven sekä lasijauheen sekoituksesta valettuun esineeseen. Erilaisia vaihtoehtoja voisi sekoittaa sekä testata äärettömyyksiin. Tämän opinnäytetyön aikana määritettiin vain karkeat rajat sopivalle kierrätyslasin määrälle punasavivalumassassa.

Taulukko 16. Koesarjojen eteneminen, yleiset tulokset

	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	Ensimmäinen koesarja
Punasavi (%)	70	65	60	55	50	45	40	35	30	
Lasijauhe (%)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
+ dispex (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
+ vesi (%)	37	37	37	37	37	37	37	37	37	

	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	Toinen koesarja
Punasavi (%)	60	55	50	45	40	Muutos:
Lasijauhe (%)	40	45	50	55	60	-Veden määrä -2%
+ dispex (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-Polttolämpötila -50 °C
+ vesi (%)	35	35	35	35	35	

	3.1	3.2	3.3	3.4	Kolmas koesarja
Punasavi (%)	60	50	50	50	Muutos:
Lasijauhe (%)	40	50	50	50	-Lisätään liitua
+ dispex (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	
+ liitu (%)	5	10	15	20	
+ vesi (%)	35	35	35	35	

= jäi vähäisesti muottiin kiinni
 = jäi huomattavasti muottiin kiinni

Taulukko 17. Koesarjojen eteneminen, polttotulokset

1000°C	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	Ensimmäinen koesarja
Punasavi (%)	70	65	60	55	50	45	40	35	30	
Lasijauhe (%)	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
+ dispex (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
+ vesi (%)	37	37	37	37	37	37	37	37	37	

1000°C	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	Toinen koesarja
Punasavi (%)	60	55	50	45	40	
Lasijauhe (%)	40	45	50	55	60	
+ dispex (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	
+ vesi (%)	35	35	35	35	35	

1000°C	3.1	3.2	3.3	3.4	Kolmas koesarja
Punasavi (%)	60	50	50	50	
Lasijauhe (%)	40	50	50	50	
+ dispex (%)	0,2	0,2	0,2	0,2	
+ liitu (%)	5	10	15	20	
+ vesi (%)	35	35	35	35	
950°C	3.1	3.2	3.3	3.4	

= haasteellinen valettavuus
 = sulaa herkästi

Taulukko 18. Koesarjojen eteneminen, umpivalettavuus

1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	Ensimmäinen koesarja
2.1	2.2	2.3	2.4	2.5					Toinen koesarja
3.1	3.2	3.3	3.4						Kolmas koesarja

= Ei mahdollista valaa umpivaluna
 = Pintakuvioita valusta

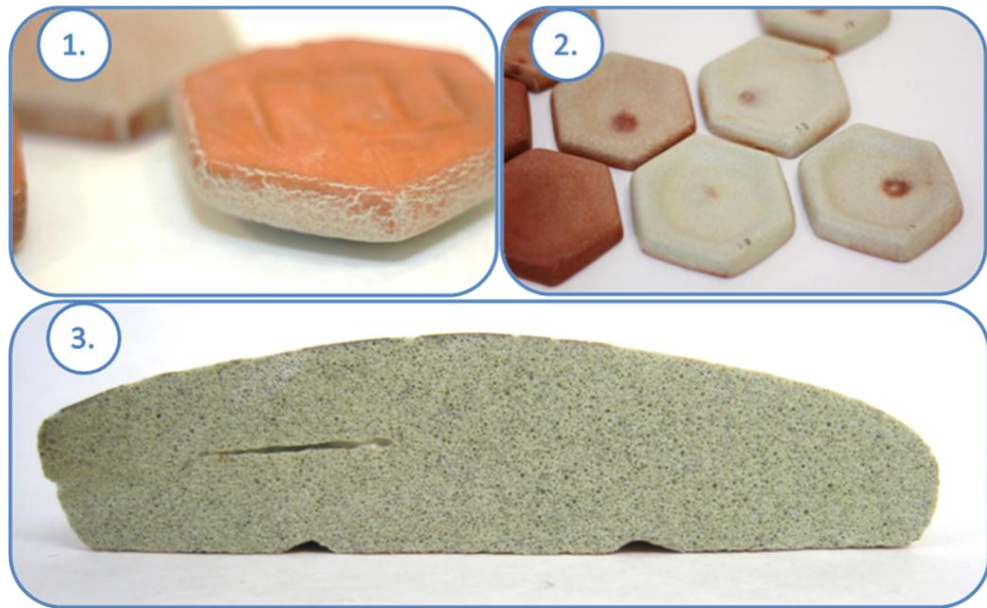
= Umpivalun pinta vaurioitunut

Lisäämällä punasavivalumassaan lasijauhetta saadaan matalapolttoinen punasavivalusavimassa. Matalalle poltettuna se säilyttää punaisen värinsä vaikka lasijauheen määrä massan kokonaismäärästä ylittäisi 55 %.

Lasijauheen lisääminen massaan alentaa massan sulamispistettä. Alhainen sulamispiste mahdollistaa erittäin tiheän kappaleen, jonka vedenimu on alle 1 %. Korkeampiin, 1000 - 1020 °C lämpötiloihin poltettuna punasavivalumassa lasijauheella sulaa herkästi sekä menettää muotonsa.

Runsaasti lasijauhetta sisältävä koekappale, joka on korkealle poltettu, menettää muotonsa lisäksi myös punaisen värinsä. Kappale on tällöin vaa-

lean vihertävä, aivan kuin punasavihiukkaset olisivat väistyneet sulavan lasimassan tieltä.



Kuva 9. Ensimmäisen koesarjan koemassa 1.8 vaaleanvihreitä koepaloja 1. Umpivalupalan pohja. 2. sulaneita kuusikulmioita. 3. Halkileikattu umpivalupala

Kun punasavimassaan on lisätty kuivapainosta puolet lasijauhetta, on punasavivalumassa vieläkin olemukseltaan jähmeäkö. Lasijauheen ylittäessä 70 % osuuden massassa, on punasavivalu juoksevaa ja rakentaa seinää hyvin. Lasijauhepitoinen massa jää kuitenkin muotteihin kiinni alkalisuutensa, sekä lasijauheen pienten partikkelikoon vuoksi ja on kuivuttuaan erittäin haurasta ja hiekkamaista.

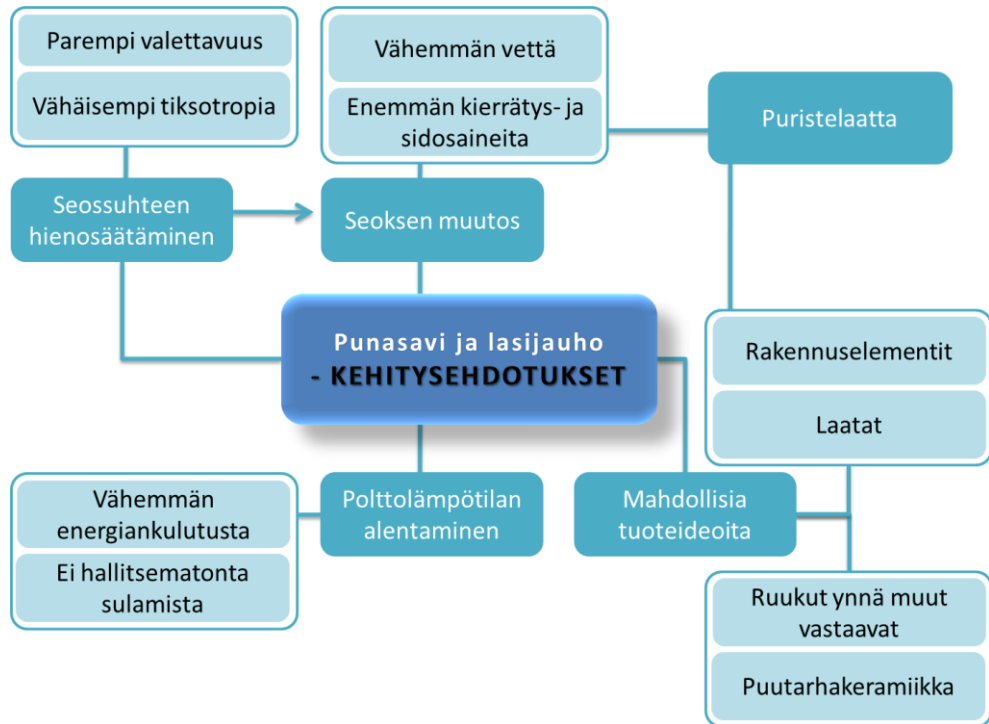
Aikaisemmissa lasimurskaa keramiikkaan sekoittavissa testeissä todettiin suuren lasimurskan aiheuttavan lasipisaroita sekä kraattereita esineen pinnalle. Näitä ei tullut ilmi tämän opinnäytetyön valmiita koekappaleita tutkittaessa. Koesarjojen aikana vahvistettiin Seveliuksen vuonna 1997 pohdima seikka, että tarpeeksi pieneen partikkelikokoon murskattu kierrätyslasin käyttö ei muodosta epätoivottuja pisaroita taikka kraattereita esineen pinnalle. (Sevelius 1997, 104.)

7.2 Saatujen tulosten jatkokehittävyys

Tämän opinnäytetyön aikana saatiin aikaan karkea kuva siitä, millaisia valumuinaisuuksia kierrätyslasijauheen lisääminen punasavivalumassaan mahdollistaa. Seuraava vaihe on hienosäätää sekä jalostaa saatuja massareseptejä niin, että saadaan ominaisuuksiltaan entistä parempi valumassa.

Seosyhdistelmä, jossa oli punasavea 45 - 40 % ja lasijauhetta 55 - 60 %, nousi omaksi suosikikseni. Valettavuus oli avovalulla hyvä ja umpivalulla kohtalainen. Lasin läsnäolo punasavimassassa ilmeni alhaisella vedenimukyvyllä sekä pienellä rosoisuudella avuvalupinnassa. Korkeammalle poltettuna lasin läsnäolo paljastui kappaleen väri- ja pintamuutoksina, mutta ei kuitenkaan aiheuttanut kappaleen hallitsematonta sulamista.

Taulukko 19. Kehitysehdotuksia punasaven ja lasijauheen yhdistelmälle



7.2.1 Massan, valuprosessin ja polton säätäminen

Runsaasti punasavea sisältävien massojen juoksevuutta voi parantaa lisäämällä kalsinoitua punasavea tai jotain muuta epäplastista ainetta. Runsaasti lasijauhetta sisältävien massojen herkkyyttä ilmakeivana taikka arvaamatonta polttokäyttäytymistä voisi kontrolloida lisäämällä massaan muitakin plastisia aineita kuin pelkkää liitua.

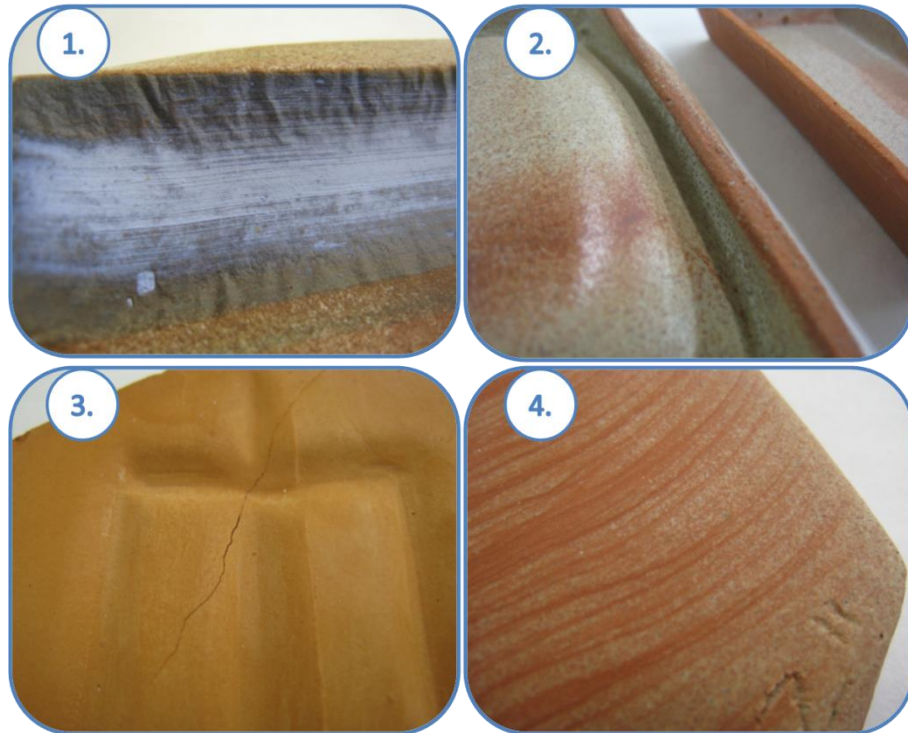
Erityisesti umpivalun kohdalla säätämisen varaa löytyy runsaasti. Hyvin harva umpivaluista onnistui erittäin hyvin. Suurin osa koemassoista ei jähmettynyt sisältään 45 minuutin valun aikana. Runsaasti punasavea sisältävät massat tukkivat muotin, ennen kuin umpivalumuotti oli täyttynyt, tai umpivalun sisälle jää ilmakeivä, joka rikkoi esineen poltossa. Runsaasti lasijauhetta sisältävät massat jäivät muottiin kiinni.

Umpivaluista olisi voitu koesarjojen aikana saada parempia tuloksia, mikäli massan annettaisiin valautua kauemmin. Kysymys onkin, onko kannattavaa antaa umpivalulle pidempää valuaikaa, vai pyrkiä kehittämään sellainen valumassa, joka jähmettyy tehokkaammin.

On myös erittäin mahdollista, että veden määrä oli koesarjoissa liian suuri. Vaikka punasavi tarvitsee runsaasti vettä ollakseen juoksevaa, veden 33 - 34 % osuus massassa voi muuttaa varsinkin runsaasti lasijauhetta sisältävien massojen käyttäytymistä suotuisammaksi.

Myös polton säätäminen optimaaliseksi on erittäin merkityksellistä. Onnistuneesti säädetty polttolämpötila polttaa esineen kiinteäksi, mutta esine

ei menetä muotoaan sulamalla. Kehityssuunnista polttolämpötilan huomattava alentaminen on hyvin mahdollinen, jopa suositeltava vaihtoehto.



Kuva 10. Koesarjojen aikana huomioituja hyötyjä ja haittoja: 1. Koemassan 2.5 enkopiraita, joka on rypyttynyt sulamisesta johtuen, 2. Koemassan 2.5 sulaminen lähikuvassa. 3. Epäonnistuneessa umpivalussa ilmakuplan aiheuttama halkeama poltetussa tuotteessa. 4. Onnistuneen umpivalun poltetussa pinnassa kaunis kuvio

7.2.2 Seoksen muutos

Valumassassa on tärkeää huomioida käytettävien aineiden reakoko. Tämän opinnäytetyön koemassoissa käytetty punasavi oli punasavijauhetta, joka helpotti huomattavasti valusavikoemassojen tekemistä. Yhdenkään koepalan pinnalle ei muodostunut härmettä, vaikka tätä odotettiin punasavea käytettäessä. Saadut tulokset olisivat voineet olla hyvinkin erilaisia, mikäli koemassoissa käytetty punasavi olisi kaivettu maasta, kuivattu sekä murskattu käyttöä varten.

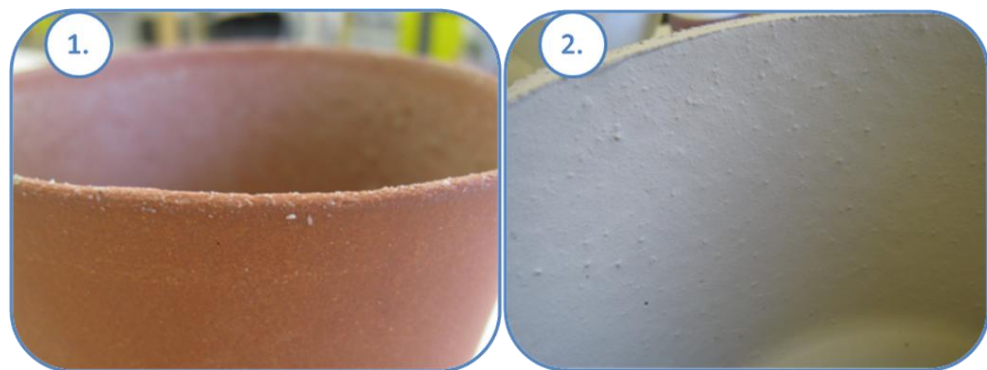
Mikäli jatkokehityksessä halutaan testata lasijauheen sekoittamista luonnonpunasaveen, kannattaa bariumkarbonaatin lisäämistä massaan harkita. Bariumkarbonaatti vähentää härmeen ilmestymistä ja sitä suositellaan lähteistä riippuen lisäämään massaan 0,1-1 %. Toisaalta Seveliuksen mukaan orgaanisten luonnonpunasavien liukoisten suolojen muodostamaa härmettä esiintyy sitä vähemmän, mitä sintraantuneempi esine on. Kaikki tämän koesarjan aikana tehdyt koemassat olivat erittäin sintraantuneita. (Sevelius 1997, 82.)

Mikäli jatkotutkimuksia halutaan tehdä luonnonpunasavella eikä bariumkarbonaattia ole saatavilla tai sitä ei haluta käyttää hintansa vuoksi, voi

vaihtoehtona olla tärkkelyksen hyödyntäminen. Seveliuksen mukaan tärkkelys vaikuttaa liukoisten suolojen esiintymiseen, mutta myös jättemateriaalista valmistettavien massojen plastisuuteen sekä huokoisuuteen. Lisäksi tärkkelystä sisältävien kappaleiden kuivuminen hidastuu, koska tärkkelys sitoo vettä. (Sevelius 1997, 118.)

Opinnäytetyössä käytetyn lasijauheen raekokoa ei tarkkaan tiedetty. Tommi Lehtisalon mukaan uusioaineiksella pystytään jauhamaan hienompaakin lasijauhetta kuin se, mitä näissä koesarjoissa oli käytetty. Hienomalla ja tasalaatuisemmalla lasijauheella saataisiin siistimpää valujälkeä. On kuitenkin kysyttävä, jäävätkö raekooltaan hienommalla lasijauholla tehdyt valumassat herkemmin nuottiin kiinni. (Lehtisalo, puhelinkeskustelu 8.10.2012.)

Lisäksi, jotta saadaan hienompaa lasijauhetta, täytyy kierrätyslasia murskata kauemmin. Tämä nostaa lasijauheen kustannuksia. Siksi onkin pohdittava, millaisia tuotteita lasijauheen ja punasaven yhdistelmällä valaa. Onko sileä avovalupinta tärkeä tuotteen kannalta vai palveleeko hieman rosainen pinta paremmin tuotteen käyttötarkoitusta. (Lehtisalo, puhelinkeskustelu 8.10.2012.)



Kuva 11. Lasijauheen aiheuttamia rosoisuuksia 1. Valmiin valukappaleen siistityssä reunassa. 2. Polttamattoman valukappaleen sisäseinämässä

7.2.3 Tuoteideat

Millaisia tuotteita olisi mahdollista valaa sekoittamalla lasijauhetta punasavivalumassaan? Matalanpolttoisille savimassoille on hyvin haasteellista löytää lasitetta, joka sulaa yhtä matalassa lämpötilassa ja on elintarviketurvallinen. Tällöin on kannattavampaa rajata elintarvikekäyttöön tarkoitettu keramiikkatavaran suunnittelu pois kierrätyslasista ja punasavimassasta yhdistetyn massan tuoteideoinnista. On myös hyvin kyseenalaista, sopiiko kierrätyslasijauhe lainkaan elintarvikekäyttöön tarkoitettuihin astioihin.

Mahdollisia kehityssuuntia punasavi ja lasijauhemassalle ovat esimerkiksi ei-elintarvikekäyttöön tarkoitetut astiat, vaasit tai ruukut. Runsaasti käyttömahdollisuuksia löytyy myös muurauksessa, joko sisätila- tai julkisivulaattana. Korkealle poltettu yhdistelmämassa sopisi sintraantumisensa vuoksi jopa uima-altaan laatoitukseksi.

Lasijauheen ja punasavivalumassan yhdistelmää käytettiin myös Piela Auvisen ulkoilma keramiikkateoksessa Kerääjät. Teoskokonaisuus esitettiin Valkeakosken Sääksmäellä Voipaalan taidekeskuksen Ceramega 2012 -keramiikkänäyttelyssä. Teos on esitetty tässä opinnäytetyössä tekijän luvalla.



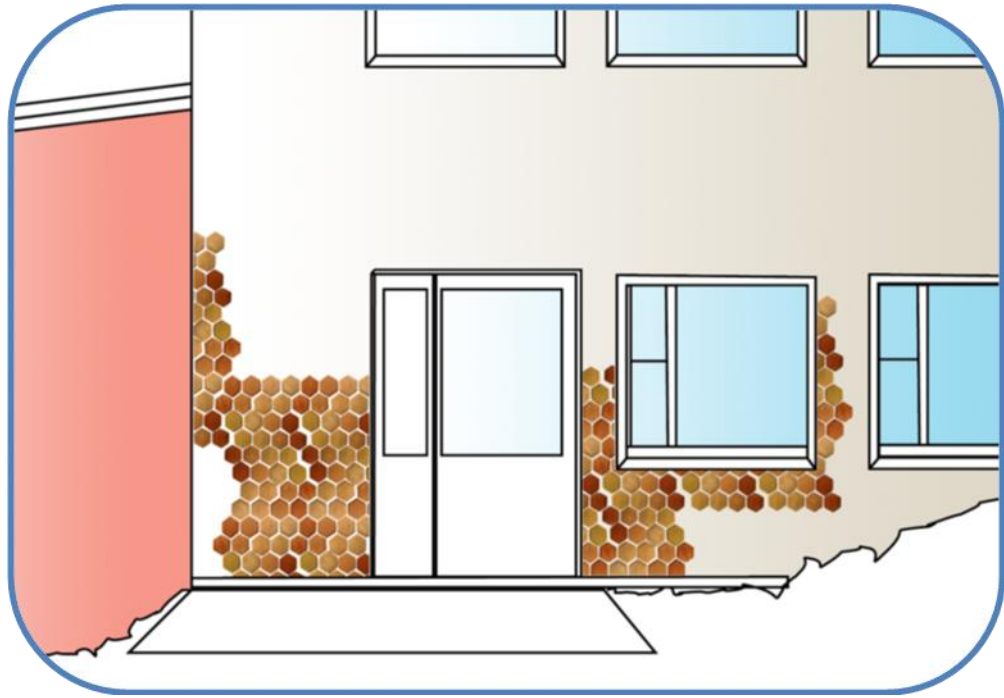
Kuva 12. Piela Auvisen ulkoilmateos Kerääjät. Teos koostuu seitsemästä punasaven ja lasijauheen yhdistelmämassalla valetusta laakeasta maljasta. Yhdistelmämassa oli yksi tässä opinnäytetyössä kehitetyistä massoista

7.2.4 Muut kehitysehdotukset

Opinnäytetyön aikana annettiin vain vähäisesti huomiota ylijäämämassoille. Saven valamisen aikana syntyy poikkeuksetta ylijäämää. Siksi olisi hyvä kiinnittää huomiota siihen, kuinka suuri prosentti ylijäämästä voidaan käyttää uudelleen. Mielenkiintoista olisikin selvittää, kuinka suuri osuus massasta voi olla kertaalleen kierrätettyä.

Ylijäämämassoja on kohdalla oltava kuitenkin kriittisiä. Ylijäämä koostuu epämääräisestä määrästä aineksia, eikä onnistuneen ylijäämän seossuhdetta ole mahdollista toisintaa uudelleen.

Mikäli lasijauhetta punasavivalumassassa haluttaisiin hyödyntää esimerkiksi erilaisiin laattoihin, on hyvä pohtia, onko kannattavaa tehdä selkeämuotoisia laattoja valusavesta. Tällöin huomioitava vaihtoehto saattaisi olla lasijauhe ja punasavimassan hyödyntäminen kuiva-, puolikuivapuristus- tai märkäpuristusmenetelmissä.



Kuva 13. Ehdotelma koemuuraukseen

8 OMA ARVIOINTI JA POHDINTA

8.1 Saatujen tulosten hyödyllisyys

Tiedon hankinta tätä opinnäytetyötä varten oli haastavaa. Suurin osa tämän opinnäytetyön tiedoista perustuu aikaisemmin saadulle tutkimustyölle. Ajankohtaisin tieto etsittiin Internetistä ja koostettiin useista eri lähteistä, mistä johtuu käytetyn tiedon tilkkutäkkimäisyys. Tietoa hankittaessa taka-alalle on jäänyt hiljainen tieto, jota ei painetuista eikä sähköisistä lähteistä löydy.

Teollisuuden rakenne on hidas ja jäyheä. Vaikka uusiokäyttömateriaalien, tässä tapauksessa lasijauheen, käytöstä on selkeitä etuja, ei hidas teollinen koneisto pysty reagoimaan toivotulla nopeudella. Tässä opinnäytetyössä saadut tulokset on tehty erittäin pienillä määrillä, jolloin inhimillisten virheiden mahdollisuudet saaduissa tuloksissa ovat erittäin suuret. Tämän vuoksi suuremmista koe-eristä tarvitaan tietoa massan käyttäytymisestä, ennen kuin voidaan puhua teollisuudessa hyödynnettävästä tiedosta. Kuten moni kierrätysaineiden hyödyntämiseen tähtäävä tutkimus, jää tämäkin opinnäytetyö kertaluontoiseksi kokeiluksi.

On hyvä kysyä, kuinka suuri hyöty kierrätysmateriaalien käytöstä on. Jotta saadaan kierrätetystä lasista murskattua lasijauhetta, on lasijäte ensin kerättävä, lajiteltava, pestävä ja murskattava. Tähän lisätään vielä lasin kuljettamisesta aiheutuvat kustannukset. Tällöin uusiokäytettävän materiaalin hinta nousee. Koska lasi- ja keramiikkateollisuudessa käytettävien raaka-aineiden hinta on verrattain alhainen, on kysyttävä, pystyykö kierrätysmateriaali edes kilpailemaan hinnoittelussa.

Seveliuksen mukaan Suomessa jättemateriaalien hyödyntäminen teollisuudessa ei ole katsottu olevan tuotteessa myyntivaltti. Jättemateriaalit koetaan raaka-aineiksi muiden joukossa. Sevelius nostaa myös ongelmaksi sen, ettei jättemateriaalin käytön perusteleminen ympäristönäkökulman, materiaalin saatavuuden taikka edullisuuden kautta ole yleensä riittävä syy materiaalin käyttämiselle teollisessa tiilen tai laatan tuotannossa. (Sevelius 1997, 125.)

Lisensiaattityössään Sevelius vertaa jättemateriaaleista valmistettua tiiliä sekä laattoja osuvasti kierrätyspaperiin. Kierrätyspaperista tehdyissä tuotteissa jätepaperi on imagon kantaja ja se että kierrätyspaperin valmistusaine on näkyvissä, osana tuotteen imagoa. Kuluttaja on niin tottunut kierrätyspaperin väriin, ettei kyseenalaista sitä, eikä kierrätyspaperin jäteperäistä alkuperää. Samalla lailla voisivat jättemateriaaleista valmistetut rakennusmateriaalit, uusiotiilet tai kierrätetyt laatat, näyttää itseltään ja luoda uutta arvoa jättemateriaalien hyödyntämiseen. (Sevelius 1997, 126.)

Tämän opinnäytetyön aikana ei syvennytty kierrätyslasin merkitykseen savimassassa muuna kuin massan lisänä. Kieltämättä kiehtovat ja ajankohittaiset aiheet, kuten jättemateriaalin hyödyntämiseen vaikuttavat mielipiteet sekä kierrätysaineiden estetiikka on rajattu pois tämän opinnäytetyön aiheista.

Kierrätyslasia käytetään jo osana lasiteollisuutta. On erittäin mahdollista, että jossain päin maailmaa kierrätyslasijauhetta käytetään osana keramiikkaa myös teollisessa mittakaavassa.

Huikkeimmat lasinkierrätysprosentit Suomesta saattavat olla yli 90 %, mutta en löytänyt näille väittämille mitään lähdettä. Tällöin saattaa kyseessä olla kapea-alaisempi otos esimerkiksi pakkauslasin kierrätyksestä, jossa ei oteta huomioon kaikkea lasijätettä. Kuitenkin lasin kierrätys on Suomessa hyvällä mallilla. Panttijärjestelmä ja kuntakeräys mahdollistavat yhä yhden Euroopan parhaimmista lasinkierrätystuloksista. Lisäksi Euroopan mittakaavalla Suomi on pieni maa, jonka jätemäärät ovat vähäisiä.

Yhteiskunnan kehittyessä ja kulutuksen kasvaessa lasijätettä tulee kuitenkin syntymään. Vaikka nykyisellään emme tuottaisikaan yhtä runsaasti jätteeksi menevää materiaalia, on taakkanamme myös jo rakennettu sekä tuotettu, vanhentuva materia. Kohtaamme tulevaisuudessa yhä suuremmat kierrättämisen haasteet.

8.2 Oma työskentely opinnäytetyön aikana

Vaikka punasavi kaikkine oikkuineen sekä vaatimuksineen on erittäin mielenkiintoinen materiaali ja omien tulosten tulkitseminen erittäin palkitsevaa, on loppujen lopuksi tutkimustyö puuduttavaa. Se on hiljaista kappaleiden mittaamista ja niiden ominaisuuksien laskemista sekä taulukoiden tekoa.

Kuten ihan missä tahansa projektissa, kasvaa tiedon määrä potentiaalisesti asiaan perehtyessä. Kuten kaikessa, missä tähdätään tiedon etsimiseen, saatiin tämänkin opinnäytetyön aikana vain raavittua jäävuoren huippua.

Siksi toivon, että kiinnostus kierrätysmateriaalien hyödyntämiseen ei katoa. Toivon, että tässä opinnäytetyössä tekemäni työ mahdollistaa helpon ponnahduslautan uusille ideoille kierrätysaineiden hyödyntämisessä.

LÄHTEET

Anttila, P. 2007. Realistinen evaluaatio ja tuloksellinen kehittämistyö. Hamina: AKATIIMI Oy

Jylhä-Vuorio, H. 2003. Keramiikan materiaalit. Kuopio: Kirjakas Ky

Halinen, A. & Romu, M. 1990. Savesta tiileksi tiilentekijän oppimoniste. Suomen tiiliteollisuusliitto Ry.

Niemelä, M. 2010. Kestävää Muotoilua mallintamassa. Tulkitseva käsite-tutkimus taideteollisen muotoilun näkökulmasta. Jyväskylä: Bookwell Oy.

Sevelius, D. 1997. Uusiotiiliä ja kierrätyslaattoja - jättemateriaalit rakennuskeramiikan raaka-aineena. Lisensiaatintyö. Helsinki: Taik

Siikamäki, R & Leppänen, K. KIMOKELA- KIERRÄTETTY MONITORILASI KERAMIikka JA LASITEOLLISUUDEN RAAKA-AINEEKSI. Loppuraportti. Taideteollinen korkeakoulu Keramiikka ja lasitaiteen koulutusohjelman tutkimusjulkaisuja No.1, 2003

Siikanen, U. 2001. Rakennusaineoppi. Rakennustieto Oy. Hämeenlinna: Karisto Oy

Vesterinen, J. 1994. Valumassa luonnonpunasavesta. Lopputyö. Kuopio: Kuopion käsi- ja taideteollisuusakatemia

RIFOLASI Innovaatioita lasista Riihimäeltä ja Forssasta – julkaisu. n.d.

Sähköiset lähteet

Hortling, A. 2009. Suomalainen punasavi, Mielipide saven käytöstä ja sen arvosta. Sähköinen julkaisu, pdf- tiedosto. Liite 1. (viitattu 19.9.2012)
<http://airihortling.fi/Suomalaisen%20punasaven%20ja%20kalsiumin%20varimuutokset%20lasitteissa.pdf>

IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control)
<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/> Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass Industrial Emissions Directive 2010/75/EU Sähköinen julkaisu, pdf- tiedosto. Taulukko 2.8 (viitattu 22.10.2012)
http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/GLS_Adopted_03_2012.pdf

Jätelaki 3.12.1993/1072 (viitattu 24.9.2012)
<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072>

Pakkausalan Ympäristörekisteri PYR Oy <http://www.pyr.fi>, pdf- tiedosto (viitattu 9.9.2012,) Pakkaustilastot 2010
http://www.pyr.fi/docs/pakkaustilastot_2010.pdf

RT 34-10763 ohjetiedosto keraamiset laatat, laatoitukset. 2001 (viitattu 25.9.2012) HAMK online- arkisto. n.d.

RT 35-10500 ohjetiedosto poltetut tiilet, muuraustarvikkeet. 1993 (viitattu 25.9.2012) HAMK online- arkisto. n.d.

SFS - EN 771 – 1 Muurauskappaleiden spesifikaatiot. Osa 1: poltetut tiilet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. (viitattu 18.9.2012) HAMK online- arkisto. n.d.

SFS – EN 772 – 21 Methods of test for masonry units. Part 21: Determination of water absorption of clay and calcium silicate masonry units by cold water. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto (viitattu 18.9.2012) HAMK online- arkisto. n.d.

Suomen virallinen tilasto (SVT): Jätetilasto [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-3339. 2010, Liitetaulukko 1. Yhdyskuntajätteet vuonna 2010, tonnia . Helsinki: Tilastokeskus (viitattu: 23.10.2012).
http://www.tilastokeskus.fi/til/jate/2010/jate_2010_2011-11-18_tau_001_fi.html

Suomen keräyslasiyhdistys (viitattu 24.9.2012)
<http://www.kerayslasiyhdistys.fi/default.aspx?intObjectID=62>

Uusioaines Oy: Foamit (viitattu 5.10.2012)
<http://www.foamit.fi/DowebEasyCMS/?Page=FoamitVaahtolasi>

Ulla-Maija Mroueh, Sirke Ajanko-Laurikko,
Mona Arnold, Anna Laiho, Margareta Wihersaari, Ilkka Savolainen, Helena Dahlbo & Marja-Riitta Korhonen. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. VTT Research notes 2402. Espoo 2007. Pdf- tiedosto. (viitattu 26.10.2012)
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2402.pdf>

Muut lähteet

Auvinen, P. 2.5.2012. Fwd: Savianalyysi. Vastaanottaja Tanja Ylitalo [sähköpostiviesti] Viitattu 21.10.2012

Lehtisalo, T. 2012. Uusioaines Oy. Puhelinkeskustelu 8.10.2012

Pura, A. 5.10.2012. Re: Tiedustelua Kultelan punasavesta. Vastaanottaja Tanja Ylitalo [Sähköpostiviesti] Viitattu 5.10.2012

Tammisto, A. 2007. Lasin materiaalitieto. Hämeen ammattikorkeakoulu. Oppituntien muistiinpanot ja jaettu moniste. n.d

Kuvat

Kuva1: kuvat 1-2: Tanja Ylitalo

Kuva 2: valokuvaaja Rita Salovaara. Kuvan oikeudet Tanja Ylitalo

Kuva 3: valokuvaaja Rita Salovaara. Kuvan oikeudet Tanja Ylitalo

Kuva 4: kuvat 1-4: Tanja Ylitalo

Kuva 5: valokuvaaja Rita Salovaara. Kuvan oikeudet Tanja Ylitalo

Kuva 6: valokuvaaja Rita Salovaara. Kuvan oikeudet Tanja Ylitalo

Kuva 7: kuvat 1-2: Tanja Ylitalo

Kuva 8: Tanja Ylitalo

Kuva 9: valokuvaaja Rita Salovaara. Kuvan oikeudet Tanja Ylitalo

Kuva 10: kuvat 1-4: Tanja Ylitalo

Kuva 11: kuvat 1-2: Tanja Ylitalo

Kuva 12: molemmat kuvat: Piela Auvisen ulkoilmateos Kerääjät. Kuvat ottanut teoksen tekijän luvalla Tanja Ylitalo

Kuva 13: Tanja Ylitalo

KOEVALUJEN PAINOMUUTOKSET

Sarja 1

Poltetun kappaleen painoero ilmakeivaan raakapolttamattomaan kappaleeseen verrattuna

H= Heksa, U = Umpivalu, x = mittaa ei saatu, KA= laskettu keskiarvo

Sarja 1	Ilmakeiva paino g	Paino poltettuna g	Muutos (%)	Keskiarvot
1.1	78,55	75,17	-4,30	1.1
1.1.2	71,24	68,18	-4,30	KA ilmakeiva paino g 66,58
1.1 H	54,83	52,48	-4,29	KA polttopaino g 63,73
1.1.2H	61,71	59,07	-4,28	KA painomuutos (%) -4,29
1.1 U	x	x	x	
1.2	74,69	71,71	-3,99	1.2
1.2.2	69,39	66,62	-3,99	KA ilmakeiva paino g 64,64
1.2 H	63,32	60,78	-4,01	KA polttopaino g 62,06
1.2.2H	51,16	49,11	-4,01	KA painomuutos (%) -4,00
1.2 U	x	x	x	
1.3	80,07	77,12	-3,68	1.3
1.3.2	105,86	101,90	-3,74	KA ilmakeiva paino g 77,33
1.3 H	52,45	50,50	- 3,72	KA polttopaino g 74,45
1.3.2H	70,95	68,29	-3,75	KA painomuutos (%) -3,72
1.3 U	x	x	x	
1.4	91,88	88,78	-3,37	1.4
1.4.2	85,25	82,33	-3,43	KA ilmakeiva paino g 84,44
1.4 H	57,40	55,41	-3,47	KA polttopaino g 81,54
1.4.2H	57,81	55,82	-3,44	KA painomuutos (%) -3,44
1.4 U	129,88	125,34	-3,50	
1.5	103,08	99,74	-3,24	1.5
1.5.2	72,82	70,45	-3,25	KA ilmakeiva paino g 85,99
1.5 H	73,16	70,78	-3,25	KA polttopaino g 83,18
1.5.2H	52,08	50,36	-3,30	KA painomuutos (%) -3,27
1.5 U	128,81	124,55	-3,31	
1.6	101,64	98,61	-2,98	1.6
1.6.2	86,32	83,79	-2,93	KA ilmakeiva paino g 90,49
1.6 H	70,04	67,98	-2,94	KA polttopaino g 87,80
1.6.2H	61,50	59,69	-2,94	KA painomuutos (%) -2,97
1.6 U	132,97	128,94	-3,03	
1.7	96,52	93,98	-2,63	1.7
1.7.2	80,83	78,69	-2,65	KA ilmakeiva paino g 81,18
1.7 H	62,69	61,13	-2,49	KA polttopaino g 79,04
1.7.2H	47,86	46,58	-2,67	KA painomuutos (%) -2,63
1.7 U	118,02	114,81	-2,72	

KOEVALUJEN PAINOMUUTOKSET

Sarja 1, jatkuu

Poltetun kappaleen painoero ilma-kuivaan raakapolttamattomaan kappaleeseen verrattuna

H= Heksa, U = Umpivalu, x = mittaa ei saatu, KA= laskettu keskiarvo

Sarja 1	Ilma-kuiva paino g	Paino poltettuna g	Muutos (%)	Keskiarvot	
1.8	101,03	98,61	-2,40	1.8	
1.8.2	81,54	79,58	-2,40	KA ilma-kuiva paino g	81,40
1.8 H²	55,31	53,35	-3,54	KA polttopaino g	79,18
1.8.2H²	55,31	53,35	-3,54	KA painomuutos (%)	-2,86
1.8 U	113,79	111,02	-2,43		
1.9	90,05	88,20	-2,05	1.9	
1.9.2	84,32	82,72	-1,90	KA ilma-kuiva paino g	87,19
1.9 H	66,00	x	x	KA polttopaino g	85,46
1.9.2H	68,09	x	x	KA painomuutos (%) ³	-1,98
1.9 U	x	x	x		

² 1.8 heksoista 4 valua, joista yhtäkään ei erikseen nimikoitu. 1.8 sarjan heksojen arvo on kaikkien palojen keskiarvo

KOEVALUJEN PAINOMUUTOKSET

Sarja 2, mittapalat

Poltetun kappaleen painoero ilmakeivään raakapolttamattomaan kappaleeseen verrattuna. KA= laskettu keskiarvo, R= Enkopiraita

Sarja 2 1000 °C	Kuiva raakapaino g	Paino poltettuna g	Muutos (%)	Keskiarvot	
2.1	82,14	79,10	-3,70	KA 2.1 muutos (%)	-3,75
2.1 R	111,64	107,40	-3,80		
2.2	110,33	106,54	-3,44	KA 2.2 muutos (%)	-3,51
2.2 R	96,37	92,92	-3,58		
2.3	76,13	73,73	-3,15	KA 2.3 muutos (%)	-3,24
2.3 R	84,26	81,46	-3,32		
2.4	82,50	80,13	-2,87	KA 2.4 muutos (%)	-2,96
2.4 R	91,49	88,71	-3,04		
2.5	71,69	69,77	-2,68	KA 2.5 muutos (%)	-2,87
2.5 R	69,84	67,70	-3,06		
Sarja 2 950 °C	Kuiva raakapaino g	Paino poltettuna g	Muutos (%)	Keskiarvot	
2.1	72,98	69,51	-4,75	KA 2.1 muutos (%)	-4,60
2.1 R	74,13	70,84	-4,44		
2.2	63,27	60,66	-4,13	KA 2.2 muutos (%)	-4,91
2.2 R	60,31	56,88	-5,69		
2.3	57,46	54,95	-4,37	KA 2.3 muutos (%)	-4,82
2.3 R	59,65	56,51	-5,26		
2.4	68,04	65,20	-4,17	KA 2.4 muutos (%)	-4,66
2.4 R	63,60	60,33	-5,14		
2.5	63,84	61,77	-3,24	KA 2.5 muutos (%)	-3,69
2.5 R	60,08	57,59	-4,14		

KOEVALUJEN PAINOMUUTOKSET

Sarja 2, umpivaletut heksat

Poltetun kappaleen painoero ilmakeuivaan raakapolttamattomaan kappaleeseen verrattuna. KA= laskettu keskiarvo

Sarja 2 heksat	Kuiva raakapaino g	Paino poltettuna g	Muutos (%)
2.1.3 rikki	96,45	90,37	-6,30
2.1.3 koko	111,48	104,23	-6,50
2.2 ontto	138,29	132,44	-4,23
2.2 I ontto	142,75	136,7	-4,24
2.2 II ontto	116,18	111,31	-4,19
2.2 III ontto	118,14	113,14	-4,23
2.3	120,76	116,18	-3,79
2.3 I	145,73	140,17	-3,82
Sarja 2 heksat	Kuiva raakapaino g	Paino poltettuna g	Muutos (%)
2.3 II	149,90	144,21	-3,80
2.4	150,30	145,03	-3,51
2.4 I	124,01	119,03	-4,02
2.4 II	147,30	142,2	-3,46
2.5	145,75	141	-3,26
2.5 I	140,41	135,83	-3,26
2.5.2 I	124,62	120,51	-3,30
2.5 III tippa	120,93	117,06	-3,20

KOEVALUJEN PAINOMUUTOKSET

Sarja 3

Poltetun kappaleen painoero käsikuivaan raakapolttamattomaan kappaleeseen verrattuna

H= Heksa, U = Umpivalu, x = mittaa ei saatu, KA= laskettu keskiarvo

Sarja 3 950 °C	Kuiva raakapaino g	Paino poltettuna g	Muutos (%)	Keskiarvot	
3.1	89,48	83,92	-6,21	KA 3.1 muutos (%)	-6,32
3.1 H	54,34	50,95	-6,24		
3.1 U	140,46	131,32	-6,51		
3.2	67,05	61,76	-7,89	KA 3.2 muutos (%)	-8,30
3.2 H	43,69	40,39	-7,55		
3.2 U	153,09	138,59	-9,47		
3.3	53,66	48,61	-9,41	KA 3.3 muutos (%)	-9,69
3.3 H	38,26	34,79	-9,07		
3.3 U	129,90	116,16	-10,58		
3.4	57,03	51,05	-10,49	KA 3.4 muutos (%)	-10,73
3.4 H	37,99	34,09	-10,27		
3.4 U	130,83	115,86	-11,44		
Sarja 3 1000 °C	Kuiva raakapaino g	Paino poltettuna g	Muutos (%)		
3.1	86,72	81,37	-6,17	KA 3.1 muutos (%)	-6,27
3.1 H	54,47	51,03	-6,32		
3.1 U	142,73	133,69	-6,33		
3.2	58,64	54,28	-7,44	KA 3.2 muutos (%)	-6,55
3.2 H ⁴	38,10	36,05	-5,39		
3.2 U	146,98	136,97	-6,81		
3.3	58,12	52,93	-8,93	KA 3.3 muutos (%)	-8,91
3.3 H ⁴	42,22	38,34	-9,20		
3.3 U	123,21	112,62	-8,60		
3.4	60,37	54,15	-10,30	KA 3.4 muutos (%)	-10,29
3.4 H ⁴	40,32	36,1125	-10,43		
3.4 U	124,55	111,94	-10,12		

KOEVALUJEN VEDENIMUKYKY

SFS- EN 711-1 vedenimutesti, Sarja 1. Kaikki painot ovat grammoissa

KA= laskettu keskiarvo

Sarja 1 1000 °C	Paino 105 °C	Vesipaino	Vedenimu (%)	Keskiarvot	
1.1	75,12	80,30	0,07	KA 1.1	
1.1.2	68,12	72,96	0,07	Paino 105 °C	63,68
1.1 H	52,45	55,24	0,05	Vesipaino	67,64
1.1.2 H	59,03	62,04	0,05	Vedenimu (%)	0,06
1.2	71,65	75,51	0,05	KA 1.2	
1.2.2	66,55	70,17	0,05	Paino 105 °C	66,32
1.2 H	60,75	62,43	0,03	Vesipaino	69,37
				Vedenimu (%)	0,05
1.3	77,08	78,79	0,02	KA 1.3	
1.3.2	101,87	104,73	0,03	Paino 105 °C	76,48
1.3 H	50,48	50,87	0,01	Vesipaino	78,13
				Vedenimu (%)	0,02
1.4	88,66	89,02	0,004	KA 1.4	
1.4.2	82,30	82,78	0,01	Paino 105 °C	70,54
1.4 H	55,39	55,53	0,003	Vesipaino	70,82
1.4.2 H	55,80	55,93	0,002	Vedenimu (%)	0,004
1.5	99,72	99,93	0,002	KA 1.5	
1.5.2	70,43	70,66	0,003	Paino 105 °C	80,29
1.5 H	70,73	70,91	0,003	Vesipaino	80,50
				Vedenimu (%)	0,003
1.6	98,60	98,71	0,001	KA 1.6	
1.6.2	83,75	83,91	0,002	Paino 105 °C	77,49
1.6 H	67,93	68,06	0,002	Vesipaino	77,64
1.6.2 H	59,66	59,88	0,004	Vedenimu (%)	0,002
1.7	93,94	94,06	0,001	KA 1.7	
1.7.2	78,66	78,94	0,004	Paino 105 °C	70,05
1.7 H	61,02	61,13	0,002	Vesipaino	70,22
1.7.2 H	46,57	46,74	0,004	Vedenimu (%)	0,003
1.8	98,61	98,76	0,002	KA 1.8	
1.8.2	79,57	79,82	0,003	Paino 105 °C	65,26
1.8 1 H	49,85	49,99	0,003	Vesipaino	65,45
1.8 2 H	47,09	47,26	0,004	Vedenimu (%)	0,003
1.8 3 H	51,88	52,14	0,01		
1.8 4 H	64,53	64,72	0,003		

KOEVALUJEN VEDENIMUKYKY

SFS- EN 711-1 vedenimutesti, Sarja 2. Kaikki painot ovat grammoissa

KA= laskettu keskiarvo

2.1 sarja 950 °C	Paino 105 °C	Vesipaino	Vedenimu (%)	Keskiarvot	
1	54,56	59,18	0,08	KA Sarja 2.1	
2	57,20	61,92	0,08	Paino 105 °C	52,66
3	49,72	54,02	0,09	Vesipaino	57,14
4	50,21	54,59	0,09	Vedenimu (%)	0,09
5	51,60	55,98	0,08		

KOEVALUJEN VEDENIMUKYKY

SFS- EN 711-1 vedenimutesti, Sarja 3. Kaikki painot ovat grammoissa

KA= laskettu keskiarvo

Sarja 3 1000 °C	Paino 105 °C	Vesipaino	Vedenimu (%)	KA 1000 °C		
3.1	81,31	82,59	0,02	3.1	Paino 105 °C	88,68
3.1 H	51,04	53,85	0,06		Vesipaino	92,24
3.1 U	133,68	140,29	0,05		Vedenimu (%)	0,04
3.2	54,31	54,66	0,01	3.2	Paino 105 °C	59,21
3.2 1 H	38,36	41,47	0,08		Vesipaino	60,77
3.2 2 H	33,45	34,30	0,03		Vedenimu (%)	0,03
3.2 3 H	33,75	34,57	0,02	3.3	Paino 105 °C	53,11
3.2 U	136,20	138,84	0,02		Vesipaino	54,69
3.3	52,93	53,51	0,01		Vedenimu (%)	0,03
3.3 1 H	34,57	36,13	0,05	3.4	Paino 105 °C	51,74
3.3 2 H	37,36	37,62	0,01		Vesipaino	54,44
3.3 3 H	41,46	43,04	0,04		Vedenimu (%)	0,05
3.3 4 H	39,96	41,91	0,05			
3.3 U	112,36	115,94	0,03			
3.4	54,16	55,75	0,03			
3.4 1 H	36,09	39,97	0,11			
3.4 2 H	36,12	36,60	0,01			
3.4 3 H	33,72	35,99	0,07			
3.4 4 H	38,42	40,83	0,06			
3.4 U	111,94	117,47	0,05			

Sarja 3 950 °C	Paino 105 °C	Vesipaino	Vedenimu (%)	KA 950 °C		
3.1	83,94	92,08	0,10	3.1	Paino 105 °C	88,74
3.1 H	50,96	55,10	0,08		Vesipaino	96,27
3.1 U	131,32	141,63	0,08		Vedenimu (%)	0,09
3.2	61,74	66,29	0,07	3.2	Paino 105 °C	80,21
3.2 H	40,35	42,74	0,06		Vesipaino	84,70
3.2 U	138,55	145,06	0,05		Vedenimu (%)	0,06
3.3	48,56	53,49	0,10	3.3	Paino 105 °C	66,48
3.3 H	34,79	37,60	0,08		Vesipaino	71,89
3.3 U	116,09	124,57	0,07		Vedenimu (%)	0,09
3.4	50,96	56,64	0,11	3.4	Paino 105 °C	66,90
3.4 H	34,04	37,64	0,11		Vesipaino	73,66
3.4 U	115,71	126,69	0,09		Vedenimu (%)	0,10

KOEVALUJEN PINTA-ALAN MUUTOKSET

Sarja 1 ja sarja 2 1000 °C, mittapalojen pinta-alan muutokset. Kaikki pituudet ovat millimetreissä. R= Enkopiraita

1. Kuinka monta prosenttia raaka koepala on pinta-alaltaan pienempi kuin muotti
2. Kuinka monta prosenttia poltettu koepala on pinta-alaltaan pienempi kuin raaka
3. Kuinka monta prosenttia poltettu koepala on pinta-alaltaan pienempi kuin muotti

Sarja 1	Muotti pinta-ala	Ilmakuiva pinta-ala	Poltto pinta-ala	1. (%)	2. (%)	3. (%)
1.1	50	43,99	38,63	12,02	12,18	22,74
1.1.2	50	44,13	41,00	11,74	7,10	18,01
1.2	50	42,63	40,50	14,75	4,99	19,00
1.2.2	50	43,80	40,50	12,39	7,54	19,00
1.3	50	46,33	39,29	7,34	15,19	21,41
1.3.2	50	43,43	39,92	13,14	8,10	20,17
1.4	50	43,19	40,59	13,61	6,03	18,82
1.4.2	50	45,21	39,16	9,57	13,39	21,68
1.5	50	44,70	42,78	10,60	4,29	14,44
1.5.2	50	45,69	42,74	8,62	6,47	14,53
1.6	50	45,83	46,27	8,33	-0,95	7,46
1.6.2	50	46,27	46,18	7,46	0,20	7,65
1.7	50	46,37	46,56	7,27	-0,42	6,88
1.7.2	50	46,32	47,19	7,36	-1,87	5,63
1.8	50	47,53	48,17	4,94	-1,34	3,67
1.8.2	50	47,78	46,37	4,45	2,95	7,26
1.9	50	49,35	x	x	x	x
1.9.2	50	49,75	x	x	x	x

Sarja 2 1000 °C	Muotti pinta-ala	Ilmakuiva pinta-ala	Poltto pinta-ala	1. (%)	2. (%)	3. (%)
2.1	50	44,32	39,12	11,36	11,74	21,77
2.1 R	50	44,98	39,43	10,05	12,34	21,15
2.2	50	44,84	39,16	10,32	12,66	21,68
2.2 R	50	45,03	39,83	9,94	11,55	20,35
2.3	50	46,42	39,67	7,17	14,54	20,66
2.3 R	50	44,84	40,95	10,32	8,68	18,10
2.4	50	45,79	39,38	8,42	14,00	21,24
2.4 R	50	46,03	42,32	7,94	8,07	15,37
2.5	50	47,48	38,27	5,04	19,40	23,46
2.5 R	50	47,34	37,84	5,33	20,06	24,32

KOEVALUJEN PINTA-ALAN MUUTOKSET

Sarja 2 950 °C, sarja 31000 °C sekä sarja 3950 °C, mittapalojen pinta-alan muutokset.

Kaikki pituudet ovat millimetreissä. R= Enkopiraita

1. Kuinka monta prosenttia raaka koepala on pinta-alaltaan pienempi kuin muotti
2. Kuinka monta prosenttia poltettu koepala on pinta-alaltaan pienempi kuin raaka
3. Kuinka monta prosenttia poltettu koepala on pinta-alaltaan pienempi kuin muotti

Sarja 2 950 °C	Muotti pinta-ala	Ilmakuiva pinta-ala	Poltto pinta-ala	1. (%)	2. (%)	3. (%)
2.1	50	45,17	42,96	9,66	4,88	14,07
2.1 R	50	45,55	43,80	8,90	3,83	12,39
2.2	50	45,70	43,34	8,61	5,16	13,33
2.2 R	50	45,46	42,64	9,09	6,19	14,72
2.3	50	45,70	41,04	8,61	10,18	17,92
2.3 R	50	46,51	42,92	6,97	7,72	14,16
2.4	50	46,27	42,23	7,46	8,74	15,54
2.4 R	50	46,56	42,04	6,88	9,70	15,91
2.5	50	46,66	44,08	6,69	5,51	11,83
2.5 R	50	46,95	44,18	6,10	5,90	11,64

Sarja 3 1000 °C	Muotti pinta-ala	Ilmakuiva pinta-ala	Poltto pinta-ala	1. (%)	2. (%)	3. (%)
3.1	50	45,27	41,31	9,47	8,73	17,37
3.2	50	47,33	41,54	5,34	12,25	16,93
3.3	50	47,14	42,92	5,72	8,95	14,16
3.4	50	47,82	43,25	4,35	9,57	13,51

Sarja 3 950 °C	Muotti pinta-ala	Ilmakuiva pinta-ala	Poltto pinta-ala	1. (%)	2. (%)	3. (%)
3.1	50	44,79	43,66	10,42	2,52	12,68
3.2	50	47,09	45,41	5,81	3,57	9,18
3.3	50	48,02	46,56	3,96	3,04	6,88
3.4	50	47,43	46,56	5,14	1,84	6,88